




Accessions
Shelf No.
FOUNDED 1852
SICUT PATRIBUS SIT DEUS NOBIS
BOSTONIA
CONDITA A.D.
1630.
CIVITATIS REGIMINE DONATA A.D. 1822.
BOSTON PUBLIC LIBRARY
Received

3/19







ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

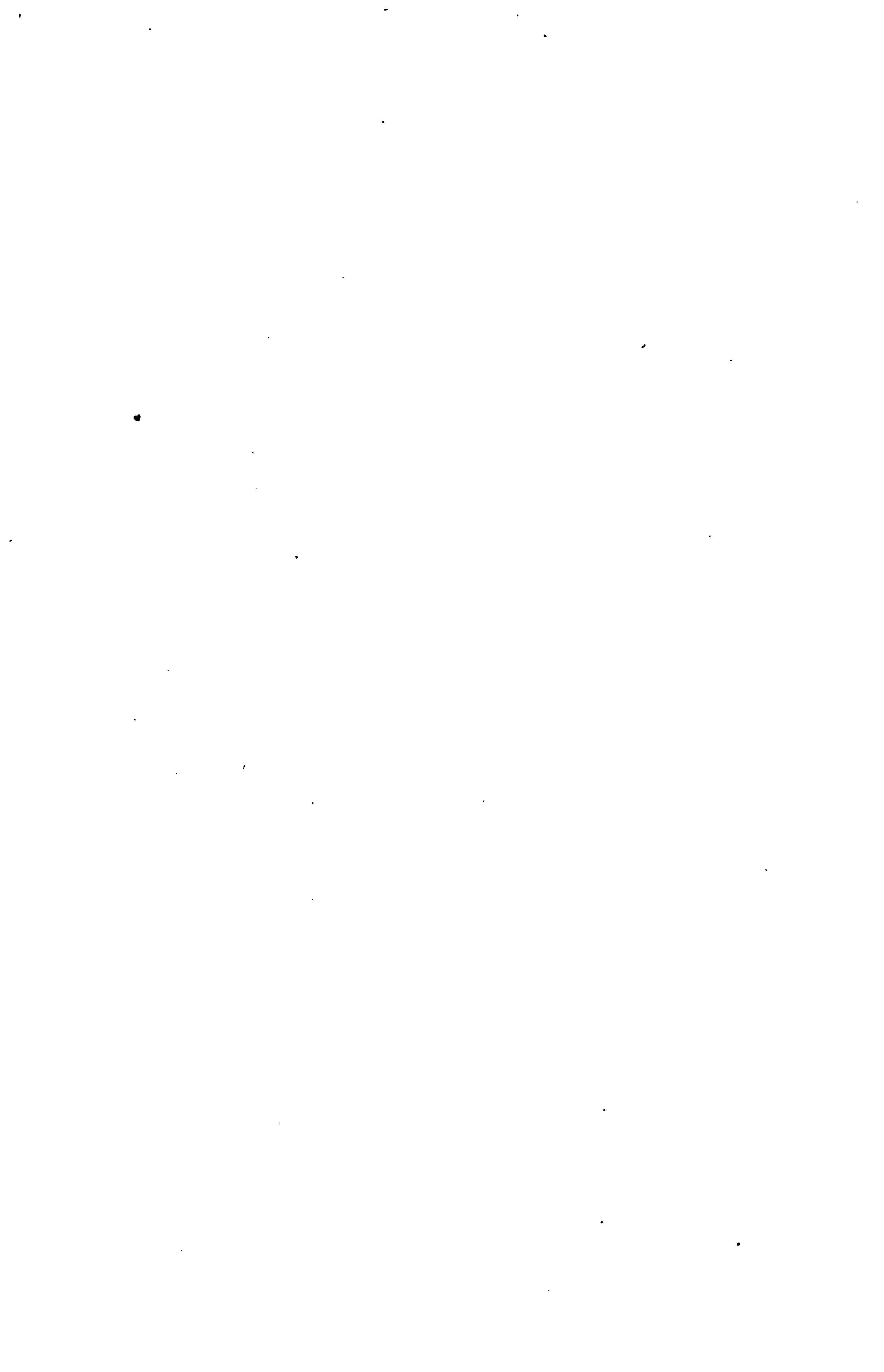
ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDVIERZIGSTER BAND.
MIT 9 TAFELN UND 47 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1891.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Inhalt.



Ueber die Wirkung des constanten Stromes auf die Darmmusculatur.

Von

Dr. **Carl Lüderitz,** prakt. Arzt in Berlin.

Mit 5 Holzschnittfiguren.

Die am Darm bei galvanischer Reizung desselben auftretenden Muskelzusammenziehungen sind in den letzten Jahren mehrfach Gegenstand genaueren Studiums gewesen, doch eine hinreichende Kenntniss selbst des Gröberen dieser Verhältnisse fehlt noch.

Nachdem zuerst Schillbach[1]) am Darm des Kaninchens die ungleiche Wirkung der beiden Pole des Stromes festgestellt hatte, indem bei der Schliessung an der Kathode meist nur locale Contractionen, an der Anode dagegen weiter ausgebreitete peristaltische Wellen von ihm beobachtet waren, theilte Biedermann[2]), der seine Untersuchungen an verschiedenen Säugethieren, an Vögeln und an Fröschen anstellte, mit, dass der Unterschied in der Wirkung an der Ein- und Austrittsstelle des Stromes nicht sowohl ein quantitativer als vielmehr ein qualitativer sei: bei Schliessung des Stromes mit der aussen auf die Darmwand aufgesetzten zugespitzten Electrode, sowohl bei unipolarer als bei bipolarer Reizung, entwickelte sich an der Kathode ein in der Längsrichtung des Darmes verlaufender und die von der Electrode berührte Stelle nach oben und unten etwas überragender, in einer flachen Grube gelegener Streifen contrahirter Musculatur, während am positiven Pol eine deutliche Contraction der Längsmuskeln nicht bemerkt wurde, sondern im Bereich der Electrode, bei stärkeren Strömen zugleich etwas aufwärts und abwärts von ihr, durch Contraction der Ringmuskeln des Darmes eine Verengerung des-

1) Schillbach, Virchow's Archiv 109. Bd., 1887.

2) Biedermann, dieses Archiv 45. Bd., 1889.

selben eintrat. Biedermann zog aus diesem Verhalten zunächst den durch den Augenschein nahegelegten Schluss, dass zwischen den antagonistisch wirkenden Längs- und Ringmuskeln des Wirbelthierdarmes ein durchgreifender Unterschied im Verhalten gegenüber der galvanischen Reizung vorhanden sei, indem die Längsfasern nur an der Austrittsstelle des Stromes, die Ringfasern nur an der Eintrittsstelle in Erregung versetzt würden.

Weitere, an der glatten Musculatur von Wirbellosen angestellte Versuche lehrten indessen, dass die erwähnte, mit dem Pflüger'schen Erregungsgesetze in Widerspruch stehende Folgerung keine nothwendige war, sondern dass die beobachteten Erscheinungen eine andere, mit diesem Gesetze harmonirende Deutung zuliessen. So beobachtete Fürst[1]), der auf Veranlassung von Biedermann Versuche an dem aus einer äusseren Ringmuskellage und einer inneren Längsmuskelschicht bestehenden Hautmuskelschlauch des Regenwurms und Blutegels anstellte, dass hier, wo im Allgemeinen die Erregung ähnliche Bilder wie am Wirbelthierdarme lieferte, die Anode deutlich hemmend auf Längs- und Ringmuskeln wirkte, und es seien daher die beobachteten, vornehmlich an den Ringmuskeln auftretenden Contractionen als Wirkung des Stromes an seiner Austrittsstelle aus dem Thierkörper, als Wirkung kathodischer Reizung also, aufzufassen. Andererseits zeigte sich bei Kathodenschliessung zwar am auffälligsten die durch Contraction der Längsmuskeln an der der Electrode entsprechenden Längsseite des Wurmes erzeugte und über mehrere Segmente sich ausdehnende Verkürzung, ausserdem aber war ganz local auch die Ringmusculatur an der Erregung betheiligt. Aehnliches fand Biedermann[2]) an zwei marinen Anneliden, und noch klarer waren die Verhältnisse an den Hautmuskeln einiger Weichthiere, bei denen eine sichtbare Trennung der Ring- und Längsmuskeln eine isolirte Erregung derselben gestattete. Es zeigte sich hier unzweifelhaft, dass gemäss dem Pflüger'schen Erregungsgesetze bei Schliessung des Stromes nur an der Kathode Erregung erfolgte, die sich aber auf die Austrittsstelle des Stromes und deren allernächste Umgebung beschränkte, dass andererseits die Anode local keine Erregung machte, und dass, wenn eine solche

1) Fürst, dieses Archiv 46. Bd., 1890.

2) Biedermann, dieses Archiv 46. Bd., 1890.

an der Anode eintrat, sie nachweislich in der Umgebung derselben zu Stande kam.

Nach diesen an Wirbellosen gewonnenen Erfahrungen erschien nun auch die Reactionsweise des Wirbelthierdarmes in anderem Lichte, und Biedermann spricht sich nach erneuter Untersuchung dahin aus, dass an dem bei Kathodenschliessung entstehenden narbenähnlichen Längswulst des Darmes auch die Ringmusculatur sich betheilige, wie auch die dellenförmige Einziehung, aus der jener Wulst sich erhebt, z. Th. mit auf Erregung der Ringmuskeln bezogen werden müsse, dass ferner die bei Anodenschliessung erscheinende ringförmige Verengerung des Darmes nicht als directe Wirkung der Anode, sondern als entstanden in der Umgebung der letzteren, da, wo der Strom durch Verringerung seiner Dichte gleichsam aus dem Darm wieder austrete, aufzufassen sei.

Wenngleich diese mit dem Pflüger'schen Erregungsgesetze in Einklang stehende Deutung noch keine ganz vollkommene genannt werden kann, indem noch nicht recht ersichtlich ist, weshalb die Erregung, wenn sie direct (bei Kathodenschliessung) geschieht, sich anscheinend mehr in der Längsrichtung, wenn indirect (bei Anodenschliessung), anscheinend mehr in der Querrichtung des Darmes ausbreitet, so steht doch soviel fest, dass die Erscheinungen nicht die Annahme eines mit dem Pflüger'schen Gesetze in Widerspruch stehenden, für Längs- und Ringmuskeln verschiedenen electromotorischen Verhaltens nothwendig machen. Und weiterhin ist es sehr wahrscheinlich und wird ebenfalls durch die an Wirbellosen gemachten Erfahrungen bekräftigt, dass wir es hier mit rein musculären Erregungen zu thun haben.

Doch ausser diesen, im nächsten Umkreis der gereizten Stelle auftretenden und wohl als „idiomusculäre“ zu deutenden Contractionen sind, besonders bei Benutzung stärkerer Ströme, noch Bewegungserscheinungen wahrzunehmen, die über eine längere Strecke des Darmes sich ausbreiten. Schillbach sah solche fortgeleiteten Contractionen besonders von der Anode ausgehen, von der sie als peristaltische Wellen in beiden Richtungen des Darmes, vornehmlich aber aufwärts, sich fortsetzten. Auch Biedermann[1]) giebt an, dass sich (an ausgeschnittenen Darmstücken!) oft ein Fort-

---

1) Biedermann, dieses Archiv 45. Bd., 1889.

schreiten der bei Schliessung des Stromes an der Anode entstehenden Contraction der Ringmuskeln beobachten lässt, und dass die Welle sich in der Regel mit gleicher Leichtigkeit ana- wie katastaltisch verbreitet. Im Einzelnen jedoch sind diese fortgeleiteten Bewegungen, die Bedingungen ihres Auftretens und ihre Beziehungen zu den vorhin beschriebenen localen Contractionen noch so gut wie gar nicht bekannt, und es waren deshalb hier weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Resultate einer zu diesem Zwecke an Kaninchen, Meerschweinchen und Katzen angestellten Versuchsreihe bringe ich in den nachstehenden Zeilen zur Kenntniss. Die Anordnung der Versuche war folgende. Nach Betäubung des Thieres, die bei den Meerschweinchen und Kaninchen durch subcutane Aethereinspritzungen, bei den Katzen durch Chloroforminhalation geschah, wurde, um eine längere Dauer der Beobachtung zu ermöglichen, nach van Braam-Houckgeest das Abdomen in einem Bade physiologischer, auf 38° C. temperirter Kochsalzlösung geöffnet. Als Stromquelle diente eine Spamer'sche, mit Stromwender versehene, 30 Elemente enthaltende Tauchbatterie. Dass, wie bekannt, derartige Batterien keine völlig constanten Ströme liefern, war unter den vorliegenden Verhältnissen, wie die Eindeutigkeit der mitzutheilenden Ergebnisse lehren wird, kein die Richtigkeit dieser Ergebnisse schmälernder Uebelstand. Die Electroden waren unpolarisirbar: eine breitere indifferente tauchte am Fussende des Thieres in die Badeflüssigkeit, die andere, in einen zugespitzten Baumwollenfaden auslaufende, wurde auf die zu reizende Stelle der Darmoberfläche aufgesetzt. Lag diese Stelle unter dem Niveau des Badewassers, so wurde die betreffende Darmschlinge vorsichtig soweit emporgehoben, dass sie mit einem kleinen, der Reizung zu unterwerfenden Theile ihrer Oberfläche den Flüssigkeitsspiegel eben überragte. Stets habe ich nur diese eine Art der Reizung, die unipolare, benutzt. Wird bei der beschriebenen Versuchsanordnung der Darm gleichzeitig an zwei Stellen, also bipolar, gereizt, so ist, wenn die Entfernung zwischen den Electroden mehr als wenige Centimeter beträgt und die Stromstärke nicht gerade erheblich ist, kaum anzunehmen, dass in der Mitte zwischen beiden Electroden der den Darm durchfliessende Strom noch die zu deutlichen physiologischen Wirkungen ausreichende Dichte besitzt, und es kommen also bei solchen Entfernungen der Electroden

von einander wohl vorwiegend polare Wirkungen zum Ausdruck. Applicirt man beide Electroden nahe bei einander auf den Darm, so wird die Beurtheilung der alsdann an dem umfänglichen und complicirt gebauten Organ auftretenden Bewegungen, die schon bei unipolarer Reizung keine ganz einfache ist, eine allzu schwierige. Bei der Reizung des nicht isolirten Darmes mit dem constanten Strom liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei der von den Electrotherapeuten geübten percutanen galvanischen Erregung der Nerven des unversehrten menschlichen Körpers, bei welcher seit Brenner die polare Methode der Reizung als die verlässlichste und brauchbarste gilt.

Es lassen sich nun — abgesehen von der besprochenen verschiedenen Wirkung der beiden Pole des Stromes — bei Reizung der verschiedensten Darmstrecken mit mehr oder minder grosser Deutlichkeit zweierlei sowohl in ihrer Erscheinungsform als in den Bedingungen ihres Auftretens von einander scharf zu trennende Wirkungen aufweisen. In vorstehendem Satze ist das Resultat der Untersuchung theilweise vorweggenommen, doch sei mir im Interesse einer mehr übersichtlichen Darstellung dies gestattet. Die eine jener Wirkungen ist bereits genauer bekannt, es sind dies die oben skizzirten, vermuthlich durch directe Erregung der glatten Muskelzellen erzeugten Veränderungen; die andere Wirkung äussert sich als eine, nicht auf die nähere Umgebung der Pole beschränkt bleibende, sondern von hier aus weiter fortgeleitete Contraction.

Auf eine ausführliche Beschreibung der erstgenannten Wirkung darf ich verzichten und bemerke, dass ich die sämmtlichen von Biedermann hierüber gemachten thatsächlichen Angaben bestätigen kann; nur einige, das Zustandekommen dieser Bewegungen betreffende Einzelheiten mögen noch hier angeführt werden. Zum Studium der localen Wirkungen, wenigstens der bei Schliessung der Kette auftretenden, eignen sich am besten niedrige Stromstärken, vielfach sind schon 1 bis 2 Elemente genügend. Dass, wie das Pflüger'sche Erregungsgesetz es verlangt, die Erregung immer nur an der Austrittsstelle des Stromes entsteht, und dass sie auf beide Muskelschichten sich erstreckt, ist meistens nicht deutlich, am wenigsten deutlich am Dünndarm, obwohl auch hier, wie ich Biedermann beistimmen muss, die Erscheinungen nicht direct gegen jenes Gesetz sprechen. An manchen Darm-

partien kann man jedoch, wie übrigens auch der genannte Autor angiebt, bei geeigneter Stromstärke Erscheinungen wahrnehmen, die selbst bei wenig scharfer Besichtigung die völlige Uebereinstimmung mit jenem Gesetze klarlegen. So lässt sich am Colon der Katze, deutlicher am Colon und Coecum der Pflanzenfresser, häufig die Beobachtung machen, dass bei Anodenschliessung die nächste Umgebung der Electrode im Vergleich zu der weiteren Umgebung wenig oder gar nicht erregt wird. Am Colon des Kaninchens bemerkt man ferner bei Kathodenschliessung, wenn mit der Electrode die Mitte eines Haustrums berührt wurde, ausser der weisslichen Längsleiste häufig eine deutliche Verengerung des betreffenden Haustrums, indem der zwischen zwei Tänien befindliche Zwischenraum schmäler wird, es findet hier also sicher auch eine Contraction der Ringmukeln statt. Bei Anodenschliessung am Coecum des Kaninchens sieht man neben der Ringmuskelzusammenziehung, welche, entsprechend der gereizten Stelle, entweder in der ganzen Circumferenz des Darmes oder nur in einem der Electrode zugekehrten Segment zu Stande kommt, deutlich auch die Längsmuskeln rings um die Electrode sich contrahiren, während die von letzterer berührte Stelle selbst und ihre allernächste Umgebung von Contraction frei bleibt. Mit Deutlichkeit konnte ich mich ferner überzeugen, dass man bei etwas höheren Stromstärken (4 bis 10 El.) auch bei der Oeffnung der Kette häufig Wirkungen erhält, welche den bei der Schliessung auftretenden entsprechen d. h. ihnen entgegengesetzt sind. So wird bei Kathodenöffnung am Dünndarm, nachdem bisher ein in einer Delle gelegener weisslicher Längsstreif daselbst bestanden hatte, unter Verschwinden des letzteren der Darm leicht verengt; und am Dickdarm der Katze, sowie besonders ausgeprägt am Blinddarm der Pflanzenfresser, zeigt sich bei Anodenöffnung, nachdem vorher der Ort der Electrode von Contraction ganz verschont geblieben war, hierselbst ein von Muskelcontraction herrührender Fleck oder Wulst. Hervorzuheben ist jedoch, dass man bei solchen höheren Stromstärken nicht selten schon Andeutungen jener oben erwähnten zweiten Wirkung des Stromes auf den Bewegungsapparat des Darmes, deren Entstehung, wie sich ergeben wird, eine andere als die der localen Wirkung ist, erhält, und dass hierdurch die Deutung des Bildes erschwert werden kann.

Zur Erzielung dieser zweiten, von der berührten Stelle des

Darmes aus sich weiter im Verlauf desselben ausbreitenden Wirkung sind nämlich im Allgemeinen viel grössere Stromstärken nöthig, als solche für das Studium der lokalen Reizerfolge ausreichen. Ausnahmsweise können sie wohl schon bei Benutzung von nur 2 oder 3 Elementen sich zeigen, im Allgemeinen jedoch muss eine grössere Anzahl (8 bis 16 El.) angewendet werden, und unter Umständen können sie selbst bei 30 Elementen noch ausbleiben. Während nämlich jene localen Wirkungen in der Stärke ihres Auftretens anscheinend ganz allein von der benutzten Stromstärke abhängig sind und an jeglichem Abschnitt des Darmtractus mit gleicher Prägnanz sich hervorrufen lassen, macht sich bei den fortgeleiteten Wirkungen in hohem Maasse der jeweilige, auch aus anderen Erscheinungen ersichtliche und bekanntlich häufig wechselnde Zustand der (offenbar nervösen) Erregbarkeit des Darmes geltend. Die Einzelheiten der fortgeleiteten Contractionen sind bei den 3 untersuchten Thierarten verschieden, und es ist daher zweckmässig, die ausführlichere Beschreibung des Vorganges für jede Thierart gesondert zu geben.

Reizt man beim Kaninchen das Duodenum mit einem mittelstarken Strom (8 bis 14 El.), so entsteht bei Kathodenschliessung nicht bloss der in breiter muldenförmiger Vertiefung gelegene Längsstreif, sondern ebendaselbst mehr oder weniger rasch eine breite aber mässige Verengerung des Darmrohres, und alsdann, binnen Secunden, schreitet letztere in der Richtung nach dem Pylorus hin einige Centimeter weiter fort, während analwärts von der gereizten Stelle keine Contraction des Darmes auftritt. Während des Geschlossenseins der Kette dauert die Zusammenziehung fort, meist wird sie sogar allmählich noch kräftiger und nach aufwärts hin ausgedehnter, bei Oeffnung des Stromkreises (die längstens nach $^1/_2$ Minute, meistens viel früher, erfolgte) hört sie oberhalb der Electrode rasch auf, während an dieser selbst ein schärfer abgesetzter, breiter und kräftiger Schnürring noch einige Zeit fortbesteht. Dieser Vorgang zeigt nun zahlreiche Varietäten. Häufig entstehen zunächst nur einzelne, durch uncontrahirte Strecken getrennte Einschnürungen des oberwärts gelegenen Darmabschnittes, und erst nach und nach wird die ganze Strecke gleichmässig verengt. In anderen Fällen scheint die Constriction nicht unmittelbar an der Electrode zu beginnen, woselbst sie überhaupt wegen der hier vorhandenen weisslichen Längsleiste und der breiten muldenähn-

lichen Abflachung des Organs bisweilen nur schwer zu erkennen ist, sondern 1 bis 2 Centimeter aufwärts von den Electroden geschieht dies, und von hier aus dehnt sie sich dann weiter nach oben und zugleich abwärts bis zur Electrode hin aus. Speciell in Fällen, wo sich viel flüssiger Inhalt im Darme befindet, ist letzteres Verhalten kein seltenes und scheint durch Anstauung des Inhalts mitbedingt zu sein. Während ferner die locale Wirkung der Kathodenschliessung (Längsstreif und Delle) sich relativ rasch zu ihrer grössten Stärke entwickelt, erfolgt die aufsteigende Constriction langsamer: in der Regel vergehen einige Secunden, ja es kann 15 bis 20 Secunden währen, ehe sie überhaupt bemerkbar wird. Häufig ferner stellt sie sich dar als eine Art von peristaltischem Wogen; oder die bereits vollendete Contraction lässt von oben her nach, um gleich darauf von Neuem aufwärts zu wandern. Die Länge des verengten Darmabschnitts wechselt sehr, für gewöhnlich beträgt sie nur wenige Centimeter, nicht selten aber mehr, sogar bis 2 Decimeter. In ausgeprägten Fällen streckt sich dabei der Darm beträchtlich und wird bleich, blutleer. Abwärts der gereizten Darmstelle bleibt, wie erwähnt, die Zusammenziehung in der Regel aus; nur wenn die oberwärts contrahirte Strecke eine sehr ausgedehnte ist, schreitet die Constriction auch wohl 1—2—3 cm über die Electrode hinaus nach dem Ileum zu fort.

Die beschriebenen Vorgänge vollziehen sich, wie der Augenschein lehrt, an der Ringmuskelschichte des Darmrohres. Mitunter indessen wird deutlich auch die Längsmuskellage, und zwar rings um den Darm, in fortgeleitete Erregung versetzt. Dann verkürzt sich zunächst der Darm einige Centimeter weit je auf- und abwärts von der Electrode, geräth auch wohl durch abwechselndes Erschlaffen und erneute Verkürzung in leichtes Pendeln, und erst etwas später tritt ausserdem, wenn überhaupt, die aufsteigende Verengerung zu diesen Bewegungen hinzu.

Wird anstatt mit der Kathode die Kette mit dem positiven Pol am Duodenum geschlossen, so sind ähnliche Vorgänge wie die mitgetheilten zwar ebenfalls wahrzunehmen, sie sind jedoch ganz entschieden schwächer. Man darf sich freilich durch den bei erheblicher Stromintensität am positiven Pole entstehenden, kräftigen, stabförmig gestreckten Schnürring, der als locale Wirkung anzusehen ist, nicht täuschen lassen. Tritt bei Kathoden-

schliessung eine sehr ausgedehnte fortschreitende Zusammenziehung auf, so bleibt eine ähnliche Wirkung meist auch bei Anodenschliessung nicht aus, sondern von dem localen Schnürring aus schreitet die Verengerung ganz ebenso und mit denselben Varietäten, wie vorhin ausführlich beschrieben, weiter aufwärts, aber diese Constriction entwickelt sich langsamer, ist weniger intensiv und über eine weniger lange Strecke ausgebreitet. Ist bei Kathodenschliessung die Wirkung nur schwach, so fehlt sie bei Anodenschliessung in der Regel völlig. In den meisten Fällen ist überhaupt nur mit der Kathode fortgeleitete Wirkung zu erzielen. Niemals fand ich die Anodenwirkung stärker als die kathodische. In einigen wenigen Fällen wurde, nachdem auf Anodenschliessung fortschreitende Zusammenziehung erfolgt war und während der Strömungsdauer, die $^1/_2$ bis $^3/_4$ Minute betrug, in wechselnder, etwas abnehmender Intensität fortbestanden hatte, bei Oeffnung des Stromes diese Zusammenziehung wieder stärker, aber dieses Verhalten war wie gesagt ein ganz ausnahmsweises. Bei Kathodenöffnung sah ich fortgeleitete Reaction niemals.

Am übrigen Dünndarm sind zwar qualitativ dieselben Verhältnisse wie am Duodenum anzutreffen, doch bedarf es in der Regel einer grösseren, oft recht grossen Anzahl von Elementen (12 bis 20 und mehr), um fortgeleitete Wirkungen zu erzielen, und auch dann können diese schwach sein oder fehlen. Unter Umständen freilich, wenn z. B. soeben eine kräftige peristaltische Welle einen längeren Abschnitt des Dünndarmes durcheilt hat, sind schon schwächere Ströme (von 8 bis 10 El.) dazu ausreichend, wie andererseits ausnahmsweise auch am Duodenum sogar bei der höchsten verfügbaren Stromstärke ausschliesslich locale Wirkungen auftreten können. — Dickdarm und Blinddarm endlich reagiren ebenfalls bei stärkerer galvanischer Reizung im Wesentlichen ganz ähnlich. Am Dickdarm geht die fortgeleitete Ringmuskelcontraction meist auch etwas mehr abwärts als am Dünndarm, doch ist die aufwärts der gereizten Stelle sich verengernde Darmstrecke stets länger; vielfach ist analwärts die Zusammenziehung kaum angedeutet, während klappenwärts eine 3—5 cm lange Strecke betheiligt ist. Am Blinddarm nimmt die Verengerung die Richtung nach dem geschlossenen Ende hin und kann hier auf 2 bis 3 Haustra sich fortpflanzen.

Viel ausgesprochener als während des Lebens tritt die auf-

steigende Constriction an dem stark erregbaren Darme des eben getödteten (erstickten) Thieres auf und ist hier bei genügender Stromstärke überall nachweisbar. Zugleich ist sie einfacher gestaltet: die oben geschilderten Spielarten derselben fehlen, und rascher und gleichmässiger als während des Lebens verläuft vom Reizungsorte aus die Bewegung, meist auch eine kurze Strecke nach abwärts, den Darm entlang.

Beim Meerschweinchen findet sich im Wesentlichen dasselbe Verhalten wie beim Kaninchen, doch sind die fortgeleiteten Wirkungen hier weniger ausgesprochen und im Einzelnen etwas anders. Am leichtesten reagirte auch hier der Anfangstheil des Darmes, am übrigen Dünndarm mussten meistens recht erhebliche Stromstärken benutzt werden, und auch dann noch blieb es hier häufig bei localen Erfolgen. Der Dickdarm dagegen, sowohl das weitere Anfangsstück als der dünnwandige, mit cylindrischen Kothballen angefüllte untere Abschnitt, reagirte wieder prompter. Die Länge der aufsteigend verengten Darmstrecke ist, dem kürzeren Darm dieser Thiere entsprechend, geringer als beim Kaninchen, sie beträgt für gewöhnlich — am Dünndarm — nur 1 bis 2 cm. Viel häufiger ferner als beim Kaninchen verläuft die Einschnürung nicht gleichmässig pylorowärts, sondern es tritt eine unregelmässige, wogende Bewegung auf. Oder die Verengerung beginnt 1 bis $1^1/_2$ cm oberhalb der Electrode und schreitet von hier ausschliesslich abwärts, bis zu letzterer hin oder noch etwas über sie hinaus. Dieses Verhalten war am Duodenum sogar das gewöhnliche: hier nahm, wenn der erregende Pol die Darmserosa 5 bis 6 cm vom Pförtner entfernt berührte, die Einschnürung fast immer hart am Magen ihren Anfang und eilte von hier aus rasch abwärts bis zur gereizten Stelle, auch wohl noch ein wenig weiter, den Darm stark verengend und seinen Inhalt in die tieferen Abschnitte weitertreibend. — Auch am Dickdarm kommt die Erregung in einer Mannichfaltigkeit von Bildern zum Ausdruck. So schreitet am oberen Colon die Verengerung entweder typisch, an der Electrode beginnend, 1—2—3 cm weit mit abnehmender Intensität aufwärts, oder es treten oberhalb nur vereinzelte Ringfurchen auf, oder der Darm wird nach beiden Richtungen hin, nach oben aber stärker und auf eine längere Strecke, verengt. Mehrmals blieb nach Kathodenschliessung die Verengerung an der Angriffsstelle des Reizes schwächer als abwärts und besonders aufwärts neben

derselben, so dass diese Gegend — wie die beigefügte Abbildung zeigt, in welcher der Pfeil die Richtung nach der Ileocoecalklappe angiebt — spindelförmig sich von der Nachbarschaft abgrenzte.

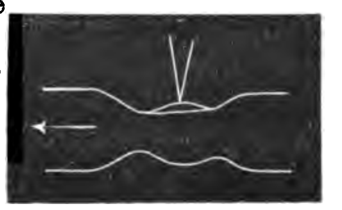


Fig. 1.

An der Längsmuskellage kam eine fortgeleitete Wirkung noch seltener als an den Ringmuskeln zur Beobachtung. Wenn sie aber auftrat, so geschah die Verkürzung des Darmes stets in beiden Richtungen etwa gleich weit, oft rhythmisch sich erneuernd, und stets erschien sie, wenn ausserdem Ringmuskelcontraction dazutrat, früher als letztere. Sehr schön waren diese Vorgänge in einem Falle kurz nach dem Tode des Thieres zu sehen: hier war das Bild genau dasselbe, wie es bei faradischer Reizung schon während des Lebens ganz gewöhnlich sich darstellt und an anderer Stelle [1]) von mir beschrieben worden ist, nur dass bei Anwendung des nicht unterbrochenen Kettenstromes ausserdem die localen Erfolge in auffälliger Weise sich geltend machten. Bei Anodenschliessung war die fortgeleitete Wirkung qualitativ dieselbe als bei Kathodenschliessung, aber schwächer.

Bei der Katze ist, während die nur localen Erfolge schwächerer Reizung dieselben wie bei Pflanzenfressern sind, das Bild der fortgeleiteten bezw. bei stärkerer Reizung auftretenden Wirkung auf den ersten Anblick ein ganz anderes als bei den letztgenannten Thieren, und ohne die genauere Kenntniss des bei letzteren herrschenden Verhaltens ist es nicht so leicht, die richtige Deutung zu finden. Auch hier zwar kommen die auf eine längere Darmstrecke sich ausbreitenden Bewegungen zuerst bei KS zum Vorschein, während AS einen schwächeren Reiz setzt und mit AO und KO überhaupt nichts dergleichen erzielt werden kann. Doch unterscheiden sie sich von den beim Kaninchen und Meerschweinchen wahrzunehmenden dadurch, dass sie viel weniger weit sich fortpflanzen, und insbesondere dadurch, dass die Verengerung des Darmrohres nicht bloss aufwärts von dem erregenden Pol und anastaltisch fortschreitend, sondern stets auch nach unten hin, ja sehr häufig auf- und abwärts gleich weit sich erstreckt. An der longi-

1) Virchow's Archiv 119. Bd., 1890.

tudinalen Muskelschicht konnte eine den ganzen Umkreis derselben treffende und zur Verkürzung des Darmes führende Erregung überhaupt nicht festgestellt werden. Im Einzelnen sind die Vorgänge folgende. Bei Kathodenschliessung am Dünndarm (mit etwa 10 bis 12 Elem.) wird, nachdem der charakteristische Längshügel sich ausgebildet hat, das Organ ebendaselbst in einer Ausdehnung von 1 bis $1^1/_2$ cm — bei grösserer Stromstärke auch auf eine längere, 2 ja 3 cm betragende Strecke — mässig verengt und leicht gestreckt, und die Verengerung geht allmählich in den uncontrahirten Darm über. Nicht immer, sondern nur in der Mehrzahl der Fälle liess sich — nach genauer Untersuchung von 8 Thieren — an der verengten Strecke eine Längendifferenz zu Gunsten des magenwärts befindlichen Abschnittes demonstriren. Der Unterschied beträgt sehr oft nur einige mm; aber es kann auch vorkommen, dass die Verengerung wie beim Kaninchen 1 bis 2 cm weit oder noch weiter langsam aufwärts geht, oder dass hier getrennte schwache Einschnürungen auftreten, während die untere, jenseits der Electrode befindliche Grenze der contrahirten Strecke mehr oder weniger stabil bleibt. Oder die anastaltisch stärkere Erregung markirt sich in Form eines oberwärts neben der Electrode den Darm tiefer als jenseits einschneidenden oder hierselbst eher auftretenden Ringes. Während des Geschlossenseins der Kette bleibt die Erregung im Allgemeinen auf gleicher Höhe; sie kann anfänglich noch langsam zunehmen; sie kann gleich im Beginn den Darm nach oben und unten hin auf eine Strecke von im Ganzen 2 bis 4 cm strecken und verengern, um gleich darauf sich auf die nähere Umgebung des Poles zurückzuziehen; sie kann auch im nächsten Umkreis desselben sich am wenigsten ausprägen, so dass ein Bild wie Fig. 1 zu Stande kommt. Wird der Stromkreis durch anodische Berührung des Darmes geschlossen, so ist bei Benutzung stärkerer Ströme (10 bis 20 Elem.) die nunmehr recht stark verengte und etwas verlängerte Strecke zwar ebenfalls ziemlich ausgedehnt (1 bis $1^1/_2$ cm, ja noch mehr), aber eine Bevorzugung der aufsteigenden Richtung ist nur in recht seltenen Fällen anzutreffen. — Am Dickdarm war das Ueberwiegen dieser Richtung deutlicher als am Dünndarm, die klappenwärts verengte Strecke war jedoch nie länger als 2 cm. Viel deutlicher ferner als am Dünndarm war hier der Intensitätsunterschied, der zwischen der bei Kathodenschliessung auftretenden fortgeleiteten und der mehr localen, ver-

muthlich idiomusculären, anodischen Verengerung sich findet: letztere ist stets recht energisch, erstere meistens um Vieles schwächer. Entsteht bei Anodenschliessung fortgeleitete Contraction, so grenzt sich daher nicht selten, wie dies aus Fig. 2 zu ersehen ist, der Bezirk starker „idiomusculärer" Contraction von einem oberwärts gelegenen, weniger verengten Bezirk auf's Deutlichste ab. Die Mannichfaltigkeit der bei Kathodenschliessung auftretenden Bilder wird, besser als durch jede Beschreibung, durch die Figuren 3 bis 5 veranschaulicht.

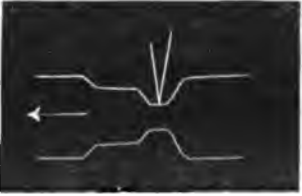


Fig. 2.

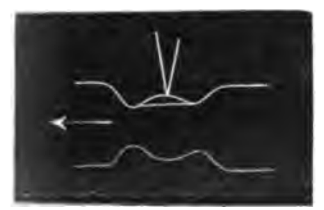


Fig. 3.

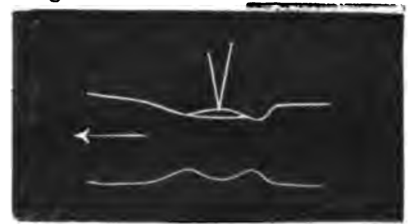


Fig. 4.

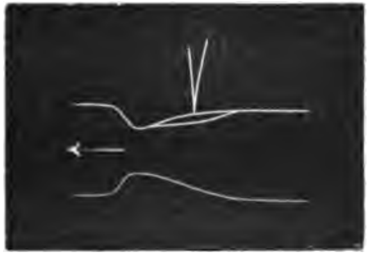


Fig. 5.

Nach dem Tode des Thieres sind die fortgeleiteten Wirkungen (Ringmuskelcontraction) ausgeprägter als während des Lebens; aber auch dann ist die Ausdehnung der anastaltischen Bewegung häufig nicht grösser als die der absteigend gerichteten; und hat erst die Erregbarkeit des Darmes ihren Höhepunkt erreicht, so ist die Bevorzugung einer bestimmten Richtung überhaupt nicht mehr wahrzunehmen, sondern ana- und katastaltisch in etwa gleicher Weise schreiten die Contractionswellen über beliebig weite Strecken des Darmes fort.

Das Wesentliche der mitgetheilten Thatsachen lässt sich in folgende Sätze zusammenfassen:

Bei Reizung des Darmes lebender Warmblüter (Kaninchen, Meerschweinchen, Katze) mit dem con-

stanten electrischen Strom treten ausser den auf die gereizte Stelle sich beschränkenden Contractionen, die bei Schliessung des Stromes mit der Kathode qualitativ anders als bei Anodenschliessung sich darstellen, noch weiter fortgeleitete Bewegungsvorgänge auf. Zur Erzeugung derselben sind im Allgemeinen grössere Stromstärken erforderlich, und auch dann können sie unter Umständen ausbleiben. Sie entstehen fast ausnahmslos nur bei der Schliessung der Kette, und zwar sowohl wenn die Reizung am Darme mit der positiven als wenn sie mit der negativen Electrode geschieht. In beiden Fällen ist qualitativ die Wirkung die gleiche, doch wirkt die Kathode stärker als die Anode. Beim Kaninchen und Meerschweinchen stellt diese Wirkung in ausgeprägten Fällen sich dar als eine, mehrere Centimeter weit je auf- und abwärts von der Electrode eintretende Contraction der Längsmuskellage des Darmes, der eine, ausschliesslich oder vorwiegend pyloruswärts verlaufende Contraction der Ringmuskellage sich anschliesst; bei der Katze tritt eine, entweder auf- und abwärts gleich weit oder pyloruswärts weiter sich erstreckende Contraction der Ringmuskeln auf.

In Bezug auf die Deutung des Beobachteten ist die Hauptfrage, welcher Antheil der Bewegungsvorgänge als directe Erregung der glatten Musculatur und welcher als indirecte, durch nervöse Einflüsse vermittelte Erregung aufzufassen ist, wohl ohne besondere Schwierigkeit zu beantworten. Schon das am Eingang dieser Abhandlung über die mehr localen, polar verschiedenen Contractionen Mitgetheilte hatte zu dem Schluss geführt, dass wir es hier mit einer directen Erregung der glatten Muskelfasern zu thun haben. Die Kenntniss noch einer zweiten, nach Form und Entstehungsbedingungen von jener ersten ganz verschiedenen Wirkung bekräftigt diesen Schluss, während andererseits diese zweite Wirkung, deren wechselnde Stärke mit dem wechselnden Grade der sicherlich nervösen Erregbarkeit des Darmtractus gleichen Schritt hält, sich als eine durch Nervenapparate vermittelte documentirt. Weitere Beweise werden durch die nachstehend noch erwähnten analogen Wirkungsarten verschiedener anderer Agentien gegeben.

Freilich ist hiermit ein genügendes Verständniss der sämmtlichen oben beschriebenen Einzelheiten der Bewegungsbilder noch nicht erreicht. Einige besonders charakteristische, durch die superponirte Wirkung der directen und indirecten Erregung erzeugte Bilder sind unschwer zu deuten. So ist in Fig. 2 (Anodenschliessung am Colon der Katze) die starke Verengerung wohl sicher auf directe Muskelerregung, die schwächere, daneben befindliche auf indirecte zu beziehen. Die Figuren 1, 3 und 4 (Kathodenschliessung am Colon von Meerschweinchen und Katze) dürften in der Weise zu erklären sein, dass in diesen Fällen, wo musculäre und nervöse Erregung an der kleinen, von der Electrode berührten Stelle geschieht und gleichzeitig in einer peripolaren Zone sich schwächere erregungshemmende (anodische) Wirkungen hinzugesellen, die sich ausbreitende Nervenwirkung erst in einigem Abstande von der Electrode, da in deren näherer Umgebung die Muskulatur sich im Zustande des Anelectrotonus befindet, zur Zusammenziehung der Ringmuskeln führen kann. Worauf die bei der Katze beobachtete Abweichung der Reaction von der bei den Pflanzenfressern auftretenden beruht, bleibt noch unklar. Auch die mannigfache, beim Kaninchen und Meerschweinschen zu bemerkende Gestaltung des Vorganges der nervösen Erregung erfordert ebenfalls noch eine genauere, vorläufig nur vermuthungsweise zu gebende Erklärung, und selbst die idiomusculären Zusammenziehungen können, wie erwähnt, noch nicht als in allen Punkten aufgeklärt gelten.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die vom Nerven ausgehende Erregung der Darmmuskeln in völliger Uebereinstimmung mit dem Pflüger'schen Zuckungsgesetze vor sich geht. Da in den Versuchen das gereizte Darmstück mit einer grossen, den Strom relativ gut leitenden Masse (Thierkörper und Badeflüssigkeit) in Verbindung stand und daher die Methode der unipolaren Reizung angewendet wurde, so äussert sich diese Uebereinstimmung als eine gemäss der von Brenner[1]) aufgestellten Zuckungsformel, die bekanntlich von Helmholtz[2]) und Filehne[3]) auf das Pflüger'sche Gesetz zurückgeführt ist, mit anschwellender Stromstärke

1) Brenner, Untersuchungen und Beobachtungen aus dem Gebiet der Elektrotherapie. Leipzig, 1869.

2) Bei Erb, Deutsches Archiv für klin. Medicin 3. Bd., 1867.

3) Filehne, Deutsches Archiv für klin. Medicin 7. Bd., 1870.

zuerst an der Kathode, dann an der Anode auftretende Wirkung. Gleichwie bei percutaner Reizung der Nerven des lebenden Menschen mit dem Anwachsen der Stromstärke die Zuckung zuerst bei KS, darauf bei AS, weiterhin bei AO auftritt, so kam die indirecte Erregung der Darmmusculatur ausnahmslos zuerst bei KS, beziehlich bei KS stärker als bei AS, zum Vorschein, einige wenige Male war ausser Anodenschliessungswirkung auch bei Anodenöffnung eine geringe Erregung zu bemerken.

Die beschriebene Reactionsweise des Darmes auf galvanische Reizung reiht sich endlich zwanglos den Thatsachen an, welche über die Wirkung verschiedener anderer Agentien, wenn dieselben auf die Serosa des Darmes applicirt werden, bereits bekannt sind. So bewirkt der faradische Strom ausser directer (am Katzendarm ganz deutlicher), in nächster Nähe der Electroden geschehender Erregung der Musculatur eine indirecte Erregung derselben, die sich als auf- und abwärts von den Electroden auftretende Verkürzung und sich anschliessende, ausschliesslich oder überwiegend pyloruswärts verlaufende, Verengerung des Darmes darstellt. Aehnliches erhält man bei Application chemischer Reize (Natronsalze)[1]; auch die der Ringmuskelzusammenziehung voraufgehende Contraction der Längsmuskellage ist, wie ich beiläufig hier mittheile, bei Anwendung der stärker wirkenden Salze (besonders des Natron carbonicum) unverkennbar. Mechanische Reize bewirken, wenn überhaupt ein Erfolg sich zeigt, meistens nur eine Zusammenziehung der direct getroffenen Muskelpartien, doch gelingt es, durch Dehnung des Darmes mittelst eines ihm einverleibten Ballons[2]) auch den Nervenapparat zu erregen und aufsteigende Ringmuskelcontraction hervorzurufen. Die Wirkung des constanten Stromes unterscheidet sich also von den Wirkungen der genannten anderen Erregungsmittel hauptsächlich dadurch, dass bei ihr der Erfolg der directen Muskelreizung besonders kräftig und räumlich besonders ausgedehnt ist, ausserdem je nachdem man den Darm mit der positiven oder mit der negativen Electrode berührt, in charakteristisch verschiedener Weise sich darstellt.

---

1) Nothnagel, Virchow's Archiv Bd. 88.

2) Lüderitz, Virchow's Archiv Bd. 118, 1889.

Die Degeneration der Kehlkopfmuskeln beim Pferde nach Durchschneidung des Nervus laryngeus superior und inferior.

Von

Friedrich Pineles, stud. med.

(Ausgeführt unter Leitung von Prof. Sigm. Exner in Wien.)

Hierzu Tafel I.

Während beim Menschen und bei den Säugethieren der Nervus laryngeus superior sich auflöst in einen kleineren äusseren Ast, der dem Musc. cricothyreoideus motorische Fasern bringt, und einen stärkeren inneren, welcher den Hauptempfindungsnerven des Kehlkopfes repräsentirt, weichen die Innervationsverhältnisse beim Pferde insofern ab, als hier der obere Kehlkopfnerv ausschliesslich sensible Fasern führt. Diese Thatsache wurde neuerdings von H. Möller[1]) experimentell bestätigt, der zugleich die merkwürdige Thatsache feststellte, dass nach Durchschneidung dieses Nerven die sämmtlichen Kehlkopfmuskeln seiner Seite atrophiren. Er betrachtete demnach diesen Nerven nicht nur als sensorisch, sondern schrieb ihm trophische Fasern für die Kehlkopfmuskeln zu. Sigmund Exner hat dann in seiner Arbeit „Ein physiologisches Paradoxon betreffend die Innervation des Kehlkopfes"[2]) gezeigt, dass beim Pferde die Durchtrennung des Nervus laryngeus superior, auf dessen Reizung der Kehlkopf vollständig in Ruhe bleibt, sofortigen Stillstand der Bewegungen der betreffenden Kehlkopfhälfte bewirke. Es lag hier also die paradoxe Erscheinung vor, dass ein Muskel, der von einem Nerv nicht motorisch versorgt wird, nach Durchtrennung dieses Nerven seine

---

1) Das Kehlkopfpfeifen des Pferdes. Stuttgart 1888.

2) Centralblatt für Physiologie Jahrgang 1889, No. 6.

Motilität verliert. Dass dieser Muskel dann einen Schwund aufweist, kann als Folge der Inactivität betrachtet werden. Wie dem immer sei, es schien lohnend die Art und die Ausbreitung der in so eigenthümlicher Weise nach Durchtrennung eines sensorischen Nerven entstandenen Muskeldegeneration genauer zu studiren.

Auf Anregung des Herrn Professor Exner unternahm ich die mikroskopische Untersuchung der beiden von ihm (l. c.) kurz beschriebenen Kehlköpfe. Der erste entstammte einem Pferde, dessen oberer, der andere einem solchen, dessen unterer Kehlkopfnerv vor geraumer Zeit durchschnitten worden war. Die betreffenden Kehlkopfhälften waren, so lange die Pferde am Leben geblieben waren, bewegungslos, wie man sich durch Untersuchung mit dem Kehlkopfspiegel des öfteren überzeugt hatte.

A. Kehlkopf nach Durchtrennung des Nervus laryngeus superior.

Der Kehlkopf des Pferdes, das 45 Tage nach Resection des N. laryngeus superior gelebt hatte, wurde in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet und sodann Zupfpräparate angefertigt, an denen hauptsächlich die Veränderungen in der Struktur der Muskelfasern verfolgt werden konnten. Ferner wurden korrespondirende Stücke jedes Muskels beider Seiten in Alkohol nachgehärtet und an, mit Eosin und Hämatoxylin gefärbten, Längs- und Querschnitten die Veränderungen in der quergestreiften Muskelsubstanz und dem interstitiellen Bindegewebe studirt, wobei grosse Sorgfalt darauf verwendet wurde, immer gleichliegende Stücke beiderseits mit einander zu vergleichen.

Schon mit blossem Auge hatte man in frischem Zustande die gelb- bis blass-röthliche Verfärbung und die Verschmächtigung einzelner Muskeln (Musc. cricothyreoideus, thyreoarytaenoideus externus, cricoarytaenoideus posticus) wahrnehmen können.

Die auffallendste Veränderung, welche an den Muskeln beobachtet werden konnte, war die Verschmälerung der einzelnen Muskelfasern, die sich an Längsschnitten und besonders deutlich an Querschnitten constatiren liess. Sie war in sämmtlichen Kehlkopfmuskeln mit alleiniger Ausnahme des Musculus cricothyreoideus eine ganz ausgesprochene, wenn sie auch in den einzelnen insofern differirte, als der Grad des Schrumpfungsprocesses ein verschiedener war. Am ausgeprägtesten und vorgeschrittensten wa

sie im Musc. thyreoarytaenoideus externus. (In Fig. 6 sind einige Umrisse normaler Muskelfasern zum Vergleich mit den degenerirten wiedergegeben. Die Umrisse aller gegebenen Abbildungen sind mit dem Zeichenprisma aufgenommen.) Im Allgemeinen waren die Fasern auf $^1/_8$—$^1/_{10}$ ihres Querschnittes verschmälert, und in den vorgeschrittensten Stadien betrug die Verkleinerung des Querschnittes einer Muskelfaser mehr als das Zwanzigfache. Der Contour der Querschnitte war bei den grösseren Fasern scharf abgegrenzt gegen das umliegende Bindegewebe, bei fortschreitendem Schwund erschien der Rand der Faser zernagt und verschwommen.

Neben diesem ausgesprochenen Schrumpfungsprocess fiel aber an anderen Fasern eine deutliche Quellung auf, eine Erscheinung, welche an manchen Stellen sehr ausgeprägt war und mit zunehmender Degeneration immer mehr und mehr schwand. Diese Quellung liess sich noch in fast allen Muskeln sicher constatiren; vermisst wurde sie nur im total degenerirten Musc. thyreoarytaenoideus externus. Von 20 nebeneinander liegenden, aufgedunsenen Fasern (Musc. cricoarytaenoideus lateralis) hatte der Durchschnitt 61 μ im Durchmesser (die breiteste maass 78 μ, die dünnste 48 μ), wogegen 20 normale Fasern desselben Muskels der anderen Seite einen mittleren Durchmesser von nur 30 μ besassen.

Ausser der Volumszunahme boten diese Primitivbündel das Aussehen ganz normaler, gesunder Fasern dar, während die verdünnten, abgesehen von der Verschmächtigung, noch andere mannigfache Veränderungen erlitten hatten.

Vor allem war an manchen der letzteren die Querstreifung undeutlicher geworden, wogegen die Längsstreifung mehr hervortrat; letztere konnte schliesslich so sehr überwiegen, dass die ausgeprägteste Fibrillenzeichnung sichtbar ward. Wenn nun auch die ganz normalen Muskelfasern gewöhnlich der Quere und Länge nach gestreift erscheinen mit den verschiedenartigsten Graden der Deutlichkeit, so war doch die Zahl der Fasern mit überwiegender Längsstreifung und Fibrillenzeichnung auf der operirten Seite eine weitaus grössere. Ausserdem erschien das Bild öfters wie getrübt und die contractile Substanz von den feinsten Körnchen durchsetzt; eine Erscheinung, der man wegen ihres häufigen Vorkommens auf der normalen Seite keine besondere Bedeutung beizulegen braucht.

Neben diesen Veränderungen fand man noch andere dege-

nerative Vorgänge in der quergestreiften Substanz. An vielen Fasern mittleren Kalibers waren an Längsbildern Streifen von verschiedener Breite sichtbar (Fig. 1 a), die seltener der Quere nach, gewöhnlich schräge die Muskelsubstanz durchsetzten und sich mit Eosin stärker tingirten als die dazwischenliegende, blasser gefärbte Substanz (Fig. 1 b). Letztere hatte stets ihre Längs- und Querstreifung beibehalten, während an den dunklen Bändern die contraktile Substanz manchmal noch gestreift, in der grössten Anzahl der Fasern aber verschwommen erschien und mehr einer homogenen Masse glich.

War der Muskelschwund weiter fortgeschritten, so waren die lichteren Partien stärker als die Wülste (Fig. 2 c) verschmälert, die jetzt hervorragten und als knotige oder kolbenförmige Auftreibungen der Faser ein varicöses Aussehen verliehen. Solche kolbenförmige Anschwellungen hatte schon Exner[1]) bei seinen Untersuchungen über die Innervation des Kehlkopfes bei Hunden und Kaninchen nach Durchschneidung von Kehlkopfnerven zu beobachten Gelegenheit gehabt.

In diesen Auftreibungen war schon von der quergestreiften Substanz nichts mehr zu sehen: sie war zu einer homogenen, glasig hyalinen, stark lichtbrechenden, glänzenden Masse zusammengeflossen. Die hier vorliegenden Bilder sind, wie ich annehmen zu können glaube, identisch mit denen, wie sie von Erb[2]) nach Nervendurchschneidung und Nervenquetschung beobachtet und als zur wachsartigen Degeneration gehörig bezeichnet worden sind.

Eine Tinktionserscheinung an Querschnitten, welche unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nahm, aber keine genügende Aufklärung fand, bestand darin, dass die einzelnen Muskelfasern das Eosin in verschiedener Weise und ungleicher Stärke aufnahmen. Während ein Theil sich lichtroth tingirte, erschien der andere

---

1) Exner, „Die Innervation des Kehlkopfes." Sitzungsber. der k. Akad. der Wissensch. in Wien, III. Abth., Februar-Heft Jahrgang 1884, S. 5. „Der Sarcolemmaschlauch verschmälert sich hiebei gleichförmig oder vorwiegend an einzelnen Stellen, so, dass er ein varicöses Ansehen erlangt."

2) W. Erb, Deutsches Archiv für klinische Medicin. V. Bd. Es sollen dies nach diesem Forscher „molekuläre oder chemische Veränderungen des Sarkoplasma" sein.

dunkelorangeroth und stark glänzend. Meistens lagen diese ungleich gefärbten Querschnitte bunt durcheinander, manchmal bezog sich die Verschiedenfarbigkeit auf ganze Bündel. Der naheliegendste Gedanke war, anzunehmen, dass man es hier mit den auf Längsschnitten beobachteten Wülsten zu thun habe. Doch zeigten die Längsschnitte im Vergleich zur Häufigkeit dieser Erscheinung auf Querschnitten oft deren so wenige, dass man daraus das verschiedenartige Verhalten der Fasern gegen Eosin nicht erklären konnte.

Was die Muskelkerne anlangt, so war eine bisweilen mächtige Vermehrung derselben zu constatiren. Dieselbe war ungleich entwickelt; an vielen Fasern fehlten streckenweise die Kerne vollständig, an anderen Stellen erschienen sie verhältnissmässig zahlreicher. In den besser erhaltenen Fasern war sie geringer, wobei die Kerne die ihrem normalen Zustande eigenthümliche spindel- bis linsenförmige Gestalt beibehalten hatten; an den hochgradig degenerirten, dünnen Fasern war sie sehr auffallend. Hier lagen die gequollenen, mehr rundlicher geformten Muskelkerne, die ganze Dicke der Faser ausfüllend, hintereinander (Fig. 2b).

Abgesehen von diesen an der Innenseite des Sarkolemma befindlichen Kernen fielen auf Querschnitten andere im Innern der contraktilen Substanz gelegene kernartige Gebilde auf, die sich von den ersten nicht nur durch ihre Lage, sondern auch durch ihr Aussehen unterschieden. Es waren das rundliche, etwas vergrösserte, sich mit Hämatoxylin intensiv blau färbende Kerne, welche von einem lichten, ziemlich schmalen, stets deutlich sichtbaren Hof umgeben, in der contraktilen Substanz gelegen sind (Fig. 3c, d). Der runde Contour des inneren Kernes hebt sich scharf ab von dem umliegenden, lichten Hofe, dessen äussere unregelmässige Grenze verschwommen in die quergestreifte Muskelsubstanz übergeht. Vielleicht sind die eben beschriebenen, modificirten Kerne identisch mit den kernartigen Gebilden, welche Hitzig[1]) in jüngster Zeit beschrieben hat. Sie fanden sich nie in den verdickten Fasern, sondern liessen sich erst, soweit ich es

1) Hitzig (Berliner klin. Wochenschrift 1888, No. 25, 34, 35) hält sie für die Initialstadien der sogenannten „Vacuolen“, welche zuerst Martini (Zur Kenntniss der Atrophia musculorum lipomatosa. Centralblatt für medic. Wissensch. 1871, No. 41) beschrieben hat.

aus meinen Präparaten ermitteln konnte, bei Querschnitten von 22—25 μ Breite nachweisen. Je mehr der Schrumpfungsprocess um sich griff, desto häufiger traten sie auf; in den Partien, welche beinahe vollständig der Atrophie anheimgefallen waren, fehlten sie beinahe in keiner Faser. Hier lagen sie dann in der Regel einzeln, doch auch in Gruppen zu zwei bis vier (Fig. 3 c) in einem Querschnitt. Oft war vom ganzen Muskelprimitivbündel nichts übrig geblieben, als dieses kernartige Gebilde mit einem schmalen Streifen contractiler Substanz (Fig. 3 d).

Nicht so prägnant waren die an dem interstitiellen Bindegewebe abgelaufenen Veränderungen. Im allgemeinen zeigt dieses eine mässige Verbreiterung und Vermehrung seiner Substanz, wobei es die gewöhnliche, zarte Struktur bewahrt und sich nur wenig tingirt hat. Oft hat es den Anschein, als ob es sich mit zunehmender Degeneration der inliegenden Muskelfasern vermehren würde, da an den Stellen stärkerer Degeneration die interstitiellen Räume sich vergrössern, ohne dass jedoch das Bindegewebe seinen Charakter geändert hat. In allen Fällen konnte jedoch keine Vermehrung der Kerne beobachtet werden. An den Stellen, wo noch zahlreiche verdickte und mittelstarke Fasern vorkommen, liegen die Querschnitte so dicht aneinander, dass das interstitielle Bindegewebe nahezu verschwindet.

Da der Process die einzelnen Muskeln in verschiedener Stärke und in verschiedener Weise ergriffen hatte, will ich im Folgenden die in demselben eingetretenen Veränderungen noch speciell besprechen.

I. Musc. cricothyreoideus.

Er wird beim Pferde vom I. Cervicalnerven mit motorischen Fasern versorgt und nimmt eine Ausnahmsstellung ein, indem trotz der mit freiem Auge erkennbaren Verschmächtigung des Muskels der mikroskopische Befund keine deutliche Degeneration wie im übrigen Kehlkopf erkennen lässt. In den Bündeln der operirten Seite liegen die Fasern einander nicht so enge an als auf der anderen Seite. Auf Querschnitten sieht man intensiver tingirte Fasern neben lichter gefärbten liegen. Auffallend gross ist die Anzahl der auf Längsschnitten und Zuppfräparaten beider Seiten vorhandenen, oben geschilderten Streifen, die in unregel-

mässigster Anordnung die Muskelsubstanz durchziehen und noch hie und da die Querstreifung beibehalten haben (Fig. 1 a). Von einer Verdünnung der Fasern kann hier nicht die Rede sein. 20 in einem Sehfeld zusammenliegende Primitivbündel maassen im Durchschnitt auf der operirten Seite 30 μ, auf der normalen 28 μ.

In keinem Muskel war der Process der Degeneration so weit vorgeschritten und so deutlich ausgesprochen, als im

II. Musc. thyreoarytaenoideus externus,

wo schon die Untersuchung mit unbewaffnetem Auge den Schwund erkennen liess.

Längsschnitte und Zupfpräparate. Während eine kleine Anzahl von verschmälerten Primitivbündeln noch Querstreifung zeigt (Fig. 2 a), ist die Hauptmasse der Fasern total atrophirt. In manchen Partien finden sich im Untergange begriffene Fascikel, deren Primitivbündel mit knotigen Auftreibungen versehen sind und fibrilläre Zeichnung besitzen (Fig. 2 c). An anderen Stellen sind die Fasern zu dünnen, zarten Bändern zusammengeschrumpft, die nur mehr eine durchschnittliche Breite von 4—5 μ besitzen, so dass der Querschnitt weniger als den fünfundzwanzigsten Theil des gewöhnlichen beträgt (Fig. 2 b). Auffallend gross ist hier der Reichthum an vergrösserten, rundlichen Muskelkernen, die oft in solcher Menge die Muskelfaser durchsetzen, dass sie dieselbe fast unkenntlich machen.

Auf Querschnitten kann man zweierlei Arten von Fasern unterscheiden: Grössere mit noch scharf contourirten, rundlichen Umrissen, welche im Durchschnitte 23 μ messen. Es waren dies die Querschnitte durch Fasern, an denen die Querstreifung noch erhalten geblieben war. Die bei weitem grösste Anzahl bildeten jedoch verschieden gestaltete, enorm verdünnte Querschnitte mit ganz unregelmässigen, zackigen und zernagten Rändern. Sie waren im Gegensatze zu den grösseren viel dunkler gefärbt und zeichneten sich durch einen eigenthümlichen, fettähnlichen Glanz aus. Viele von ihnen und in manchem Sehfeld fast alle waren durchsetzt von den früher geschilderten centralen Kernen, die in einem Hofe beinahe ungefärbter Substanz lagen.

III. Musc. thyreoarytaenoideus internus.

Während auf der gesunden Seite die Muskelbündel auf Längs- und Querschnitten normale Verhältnisse zeigen, findet man die Muskelfasern auf der anderen Seite in den verschiedensten Graden der Veränderung. Zwischen manchen normalkalibrigen finden sich andere mit deutlich ausgesprochener Verdickung, an vielen Stellen zu compakten Bündeln geordnet. Im letzteren Falle liegen sie dicht aneinander, so dass oft die interstitiellen Lücken fast vollständig verschwinden. Zwischen diesen verdickten Fasern begegnet man seitlich comprimirten, länglichen Querschnitten, welche den, von den umliegenden Fasern gebildeten, Raum ganz ausfüllen. An anderen Präparaten sind die länglichen, abgeplatteten Fasern sehr schmächtig geworden und besitzen schon einen undeutlich begrenzten Umriss. Die Querschnitte haben oft die wunderlichsten Formen. Unter ihnen treten auch bereits rundliche, stark atrophirte Primitivbündel auf, mit den charakteristischen central gelegenen Kernen. Das interstitielle Bindegewebe ist reichlicher entwickelt, derbfaseriger, stärker gefärbt und enthält runde, stark lichtbrechende Kerne.

IV. Musc. interarytaenoideus.

Während der der gesunden Seite entsprechende Antheil normales Aussehen besass, zeigten die Theile der operirten Kehlkopfhälfte ähnliche Bilder wie der Musc. thyreoarytaenoideus externus.

Die dicksten Fasern erscheinen auf den Querschnitten meist rundlich (Fig. 3 a) und messen im Durchschnitt 25 μ, also ungefähr so viel, wie die der gesunden Seite. Die Mehrzahl der Querschnitte jedoch ist stark geschrumpft, viel intensiver gefärbt und eigenthümlich glänzend (Fig. 3 b). Die Contouren der Querschnitte sind dort, wo sie an starke Bindegewebszüge grenzen, vom Sarkolemma retrahirt. In der Muskelsubstanz begegnet man den kernartigen Gebilden (Fig. 3 c) mit dem ringförmigen Hofe, die bei fortschreitender Degeneration eine viel grössere Ausdehnung besitzen als der krümliche Rest der an ihnen hängenden Muskelsubstanz (Fig. 3 d). Endlich beobachtet man zwischen den Fasern freiliegende Kerne (Fig. 3 e), welche ihrem Ansehen nach eine so grosse Aehnlichkeit mit Bindegewebskernen verrathen, dass es un-

möglich ist zu bestimmen, ob sie dem Perimysium angehören oder den letzten Rest der vollständig untergegangenen Faser bilden.

V. Musc. cricoarytaenoideus posticus.

Während viele von diesem Muskel angefertigte Präparate ganz dieselben Verhältnisse wie der Musc. thyreoarytaenoideus internus darboten, zeigten manche ein von dem gewöhnlichen Bild der Degeneration etwas abweichendes Verhalten. Der Schwund der Fasern, der in den meisten anderen Fällen sich ganz diffus über die einzelnen Muskelbündel erstreckte, hatte hier die Bündel in toto ergriffen, so dass der Grad der Degeneration nach Bündeln verschieden war. So sah man:

1. Muskelbündel, deren sämmtliche Fasern sich im Zustande der Quellung befanden und einander mit ihren Rändern beinahe berührten (Fig. 4 a, d). 18 von diesen Fasern maassen im Durchschnitt 51 μ, während der mittlere Durchmesser einer Faser aus dem gleichnamigen Muskel der anderen Seite 26 μ betrug. In anderen Bündeln traf man zwischen den rundlich hypertrophirten bereits länglich abgeplattete Fasern, deren längster Durchmesser noch die Grösse der hypertrophirten Fasern besass.

2. Zwischen diesen verdickten Bündeln lagen andere, die aus bereits atrophirten Fasern bestanden (Fig. 4 b). 20 solcher nebeneinander liegenden Querschnitte ergaben eine durchschnittliche Breite von 15 μ (die grösste maass 25 μ, die kleinste 8 μ).

3. An diese schlossen sich Fascikel mit exquisit atrophirten Fasern an (Fig. 4 c), an denen bereits die central gelegenen Kerne zu sehen waren. Eine an 27 Fasern angestellte Messung ergab als Durchschnittswerth 6 μ. Sie lagen meist zwischen verdickten Bündeln eingeschlossen. Nach Maassgabe der Atrophie erschien das interfibrilläre Bindegewebe verbreitert und straffer.

VI. Musc. cricoarytaenoideus lateralis

zeigt ausgesprochene Atrophie von Primitivbündeln mit gleichzeitiger Verdickung anderer. Die Bilder gleichen in vieler Hinsicht denen aus dem Musc. thyreoarytaenoideus internus. An vielen Muskelfasern tritt an Längsbildern eine entschiedene Neigung hervor, in Fibrillen zu zerfallen, während die Querstreifung noch mehr oder minder deutlich erhalten ist.

Die Ergebnisse dieser histologischen Untersuchung weichen in vielen Punkten ab von denen anderer Autoren, welche auch die nach Nervendurchschneidung in den Muskeln eingetretenen Veränderungen beschrieben haben. Doch bevor ich auf diese Unterschiede näher eingehe, halte ich es für gerathen, die Resultate des zweiten Versuches mitzutheilen.

Während der Nervus laryngeus superior als der exquisite Empfindungsnerv die Ernährungsverhältnisse der Kehlkopfmusculatur, wie aus dem Früheren zur Genüge hervorgeht, beeinflusst, liefert der Nervus laryngeus inferior des Pferdes sämmtlichen Kehlkopfmuskeln mit Ausnahme des Ringschildmuskels die motorischen Fasern, was durch die Experimente von Möller[1]) und Exner[2]) sichergestellt ist.

B. Kehlkopf nach Durchschneidung des Nervus laryngeus inferior.

Es lag also nahe, eine Vergleichung zwischen der Art der Degeneration nach Durchtrennung der beiden genannten Kehlkopfnerven zu machen, wozu nun der zweite der oben erwähnten Pferdekehlköpfe diente. Das Pferd wurde erst 62 Tage nach der Operation getödtet, so dass es um 16 Tage länger gelebt hatte als das erste Versuchspferd. Die mikroskopische Untersuchung, welche genau in derselben Weise, wie im ersten Falle angestellt wurde, ergab in vieler Hinsicht Unterschiede. Der Process der Degeneration war unbedingt kein so tiefgreifender wie im andern Kehlkopf, dessen N. lar. superior durchschnitten worden war.

Eine Erscheinung, die im ersten Falle constant beobachtet wurde, hier aber ganz fehlte, war die Quellung der Fasern. Die Fasern waren auf die Hälfte bis ein Drittel ihres Durchmessers reducirt, wobei die Atrophie sich immer in ziemlich gleichmässiger Weise auf sämmtliche Bündel erstreckte. Nie konnte man eine so grosse Verschmächtigung, wie im anderen Kehlkopf beobachten. Was ihre Form anlangt, so sind sie gegenüber den unregelmässigen, kantigen Fasern der normalen Seite entweder rundlich gestaltet oder mässig abgeplattet. Ihre Ränder erscheinen scharf con-

---

1) l. c.

2) Exner, l. c.

tourirt, nie verschwommen. Ebenso haben die Fasern meist ihre Querstreifung mehr oder minder deutlich beibehalten, während die Längsstreifung nur bei den wenigsten ausgeprägt ist. Kolbenförmige oder knotenartige Auftreibungen konnte man zwar an gewissen Muskeln (Musc. interarytaenoideus und thyreoarytaenoideus externus und internus) beobachten, sie waren aber nie so stark ausgeprägt, wie nach Durchschneidung des N. laryngeus sup.

Die Muskelkerne zeigten ebenso wie im ersten Falle eine mehr oder weniger grosse Vermehrung und lagen manchmal zu zwei bis vier in parallel der Längsaxe der Muskeln angeordneten Reihen. Die im Innern der Muskelsubstanz gelegenen Kerne mit dem lichten Hofe, die im anderen Kehlkopf so zahlreich angetroffen wurden, fehlten hier vollständig. Es bestanden also die in der Muskelfaser selbst eingetretenen Veränderungen lediglich in einer einfachen Verschmächtigung des Kalibers mit gelegentlich vorkommender, geringer Wucherung der Muskelkerne. Viel auffallender gestalteten sich hingegen die krankhaften Vorgänge im interstitiellen Bindegewebe, das in den Zustand der ausgesprochensten Wucherung gerathen war. Es hat sich nicht nur um die Bündel herum, sondern auch zwischen den einzelnen Muskelfasern in reichlicher Menge entwickelt, oft so stark, dass die einzelnen Primitivbündel in ziemliche Entfernung von einander gerückt werden. Dabei durchzieht es in Gestalt von straffen, langwelligen Bindegewebszügen, die sich mit Eosin verhältnissmässig stärker tingiren, den Muskel. Auch beobachtet man eine Vermehrung der Bindegewebskerne, die sich an vielen Stellen so enorm entwickelt haben, dass sie, das Bindegewebe verdeckend, die Interstitien zwischen den Muskelfasern fast ganz ausfüllen. Besonders häufig beobachtete man solch grossen Kernreichthum in der Umgebung der Blutgefässe.

Im Folgenden will ich nun die in den einzelnen Muskeln abgelaufenen Veränderungen besprechen.

I. Musc. cricothyreoideus

zeigt keine sicher nachweisbare Abweichung von dem der normalen Seite, was sich aus der Innervation durch den I. Cervicalnerven erklärt.

II. Musc. thyreo-arytaenoideus internus.

Der Schrumpfungsprocess hat in diesem Muskel die grössten Fortschritte gemacht. Das nach Maassgabe der Atrophie mehr oder weniger stark gewucherte, interfibrilläre Bindegewebe zeichnet sich durch seinen grossen Kernreichthum aus. Ist schon auf Längsschnitten und Zupfpräparaten die Abmagerung der Fasern unverkennbar, so wird sie noch viel ersichtlicher auf den Querschnitten, wo man wiederum zwei Arten von Fasern unterscheiden kann. Die einen erscheinen stärker gefärbt und besitzen einen eigenthümlichen Glanz (Fig. 5 a), während die anderen, meist schmäleren, blasser und feinkörniger sind und die sonderbarsten Formen zeigen (Fig. 5 b). Die Atrophie ist in diesen Präparaten am meisten vorgeschritten, erreicht aber keineswegs den Grad, der an gewissen Muskeln des ersten Kehlkopfes beobachtet werden konnte. 21 in einem Gesichtsfeld nebeneinander liegende Fasern haben einen mittleren Querdurchmesser von 14 μ, wobei die breiteste 25 μ, die dünnste 7,5 μ misst. Eine im normalen Muskel der anderen Seite vorgenommene Messung ergibt als Durchschnittswerth 30 μ. Es war also der Durchmesser im Durchschnitt nur um etwas mehr als die Hälfte reducirt.

Auf der gesunden Seite findet man in manchen Partien das Bindegewebe unmittelbar um die Blutgefässe herum stark mit Kernen infiltrirt; die Muskelfasern hingegen zeigen ein ganz normales Verhalten.

III. Musc. thyreoarytaenoideus externus

zeigt auf Längs- und Querschnitten dieselben Bilder, wie der vorige Muskel; nur ist der Process der Atrophie im allgemeinen nicht so weit vorgeschritten.

IV. Musc. interarytaenoideus.

Während der Muskel auf der gesunden Seite das gewöhnliche Aussehen hat, liegen auf der operirten Seite in manchen Bündeln mehr oder weniger stark verdünnte Fasern, die auf Längsbildern noch ausgeprägte Querstreifung haben. An andern Stellen trifft man Fasern mit knotenförmigen Auftreibungen. Das Bindegewebe erscheint stark verbreitert und die Kerne enorm gewuchert.

V. u. VI. **Musc. cricoarytaenoideus posticus und lateralis.**

Das in seinen Fibrillen und Kernen hyperplasirte Bindegewebe trennt die auf die Hälfte ihres Kalibers geschrumpften Fasern. Auf Zupfpräparaten und Längsschnitten ist die Querstreifung bei vielen Fasern nicht mehr deutlich erhalten, während die Fibrillenzeichnung mehr hervortritt.

Im Musc. cricoarytaen. post. auch der gesunden Seite finden sich um die Blutgefässe mächtige Kerninfiltrationen.

Aus der Beschreibung der Veränderungen der Muskeln nach Durchtrennung des oberen und unteren Kehlkopfnerven geht nun zur Genüge hervor, dass der Process der Degeneration in beiden Fällen einen wesentlich verschiedenen Charakter hatte. Im ersteren Falle, nach Excision des N. laryngeus superior fand ich theils eine Quellung, theils eine Schrumpfung der Fasern, und im letzteren Falle die oben genau geschilderten modificirten Kerne der Muskelsubstanz, während beim zweiten Versuche die Veränderungen neben dem Muskelparenchym auch das interstitielle Bindegewebe betrafen. Wie lässt sich nun dieser Unterschied deuten? Die beiden Nerven besitzen jedenfalls verschiedene Funktionen, indem der N. lar. sup. durchweg sensible Fasern enthält und der Recurrens neben der Hauptmasse der motorischen auch sensible Fasern führt, also einen gemischten Nerven repräsentirt. Der Unterschied in den Funktionen kann wiederum eine Verschiedenartigkeit der durch Wegfall der betreffenden Nerven hervorgerufenen Veränderungen in den Muskeln bedingen. Dies wird um so wahrscheinlicher, als ich gefunden habe, dass die Atrophie, welche ich nach Excision des gemischten N. recurrens an der Kehlkopfmuskulatur beobachtet habe, vollständig übereinstimmt mit den von den Autoren ausführlich beschriebenen Vorgängen in den Muskeln nach Läsion gemischter Nerven (wie Cruralis, Ischiadicus etc.). Mantegazza[1]), der an Meerschweinchen und Kaninchen circa 2 cm lange Stücke aus dem Nervus ischiadicus und cruralis

---

1) Mantegazza, Schmidt's Jahrbücher 130. Bd., S. 275 u. 136. Bd., S. 148. Auszug aus der Gazz. Lomb. 33. 1865 und 18. 1867.

einer schweren Entartung anheimfällt, und dass die Form dieser Degeneration sich von derjenigen unterscheidet, welche nach Durchtrennung des zugehörigen motorischen Nerven eintritt.

Es ist um so wichtiger diese Thatsache im Detail festzustellen, als in jüngster Zeit der Fund Möller's, sowie die Deutung, die sie durch Exner erfuhr, in Abrede gestellt wurde. Es hat nämlich Breisacher[1]) in H. Munk's Laboratorium bei zwei Pferden den oberen Kehlkopfnerven durchschnitten und bei der Section keine Atrophie der Kehlkopfmuskeln gefunden. Er folgert daraus, dass weder eine Ursache vorhanden sei im Sinne Möller's trophische Fasern anzunehmen, noch im Sinne Exner's von Inactivitätsatrophie zu sprechen.

Diese Folgerung scheint mir vollkommen unverständlich. Oder sollte Breisacher wirklich daraus, dass er keine Muskeldegeneration fand, schliessen, dass Möller in seinen zwei Versuchen, und Exner in dem seinen auch keine gefunden haben? Exner hatte gleich nach der Operation die Immobilität der betreffenden Kehlkopfhälfte constatirt und weiterhin, so lange das Thier lebte, beobachtet. Dadurch kam er auf die Vermuthung, dass die Degeneration mit der Inactivität zusammenhänge. Latschenberger-Schindelka und Struska[2]) hatten dieselbe Beobachtung nach demselben Eingriff bei einem zweiten Pferde gemacht. Breisacher aber erwähnt keiner mikroskopischen Controle, auch nicht, ob seine Thiere mit dem Kehlkopfspiegel untersucht, halbseitige Immobilität des Kehlkopfes zeigten. Das wäre doch wohl die nächstliegende Frage gewesen; die zweite hätte dann gelautet, hängt es etwa von der Individualität ab, ob Immobilität und Degeneration eintritt, oder beruhen die verschiedenen Befunde auf der ungleichen Dauer, durch welche die Thiere erhalten wurden? Es wäre ja möglich, dass eine Restitution, vielleicht sogar nach Verlauf von nach Individuen verschiedenen Zeiten eintritt.

Dieses sind Fragen, die mir alle näher zu liegen scheinen, als die Behauptung Breisacher's, deren Berechtigung übrigens durch die vorstehenden Zeilen wohl zur Genüge widerlegt ist.

1) Centralbl. f. d. med. Wiss. 1889, No. 43.

2) S. bei Exner l. c.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel I.

Fig. 1—4 und Fig. 6 umfassen Zeichnungen von Präparaten aus dem ersten Pferdekehlkopf, dessen N. lar. sup. durchschnitten war; Fig. 5 gibt eine Abbildung aus dem andern Kehlkopf, bei dem der N. recurreus resecirt worden war.

Fig. 1. Fasern aus dem Musc. cricothyreoideus. Dieselben zeigen in unregelmässigster Anordnung dunkler gefärbte Streifen (a) in der Muskelsubstanz, welche zwischen leichter tingirten Interstitien gelegen sind (b).

Fig. 2. Muskelfasern aus dem Musc. thyreoarytaenoideus externus.
a. Eine verschmälerte, jedoch noch deutlich quergestreifte Faser.
b. Stark degenerirte, von ausserordentlich vielen Kernen durchsetzte Fasern, die keine Streifung mehr erkennen lassen.
c. Fasern mit knotenförmigen, eigenthümlich glänzenden Auftreibungen.
Die lineare Vergrösserung ist hier eine nur 300fache.

Fig. 3. Querschnitt vom Musc. interarytaenoideus der operirten Seite. Die grössten Querschnitte (a) sind meist rundlich gestaltet und lichter tingirt, während die übrigen, degenerirten Fasern (b) dunklere Färbung, einen eigenthümlichen, fettähnlichen Glanz und verschieden geformte Umrisse darbieten. c zeigt drei in einer Faser gelegene, von einem lichten Hofe umgebene Kerne, d einen solchen Kern, an dem nur mehr ein spärlicher Rest von Muskelsubstanz erhalten ist. Bei e sieht man kernartige Gebilde, von denen man nicht mehr mit Bestimmtheit sagen kann, ob sie dem interstitiellen Bindegewebe angehören oder den letzten Rest einer total atrophirten Muskelfaser darstellen.

Fig. 4 zeigt einen Querschnitt vom Musc. crico-arytaenoideus posticus der kranken Seite.
Bei a und d sieht man 2 Bündel, deren Fasern verdickt sind und einander enge anliegen. Zwischen diesen liegen zwei andere Fascikel, von denen das eine aus mässig (b), das andere aus stark (c) atrophirten Querschnitten zusammengesetzt ist. In letzterem erscheint das interstitielle Bindegewebe stark verbreitert.

Fig. 5. Querschnitt durch den Musc. thyreo-arytaenoideus internus nach Recurrens-Durchschneidung.

Das Bindegewebe ist hier mächtig gewuchert. Die grösseren, rundlicheren Querschnitte (a) sind stärker gefärbt als die mehr atrophirten (b) Fasern, welche die verschiedenartigsten Umrisse zeigen.

Fig. 6. Einige Querschnitte durch normale Muskelfasern des Musc. interarytaenoideus der gesunden Seite aus dem Kehlkopf, dessen Nerv. laryngeus sup. durchschnitten war.

Diese Zeichnung dient nur zum Vergleiche mit den Querschnitten degenerirter Fasern.

Die Umrisse sämmtlicher Zeichnungen sind mit dem Zeichenprisma aufgenommen. Die Vergrösserung derselben (ausgenommen Fig. 2) beträgt 330. Die Ausführung der Zeichnungen geschah mit Hartnack Ocul. 4, Object. VIII.

Zur Physiologie der Niere.

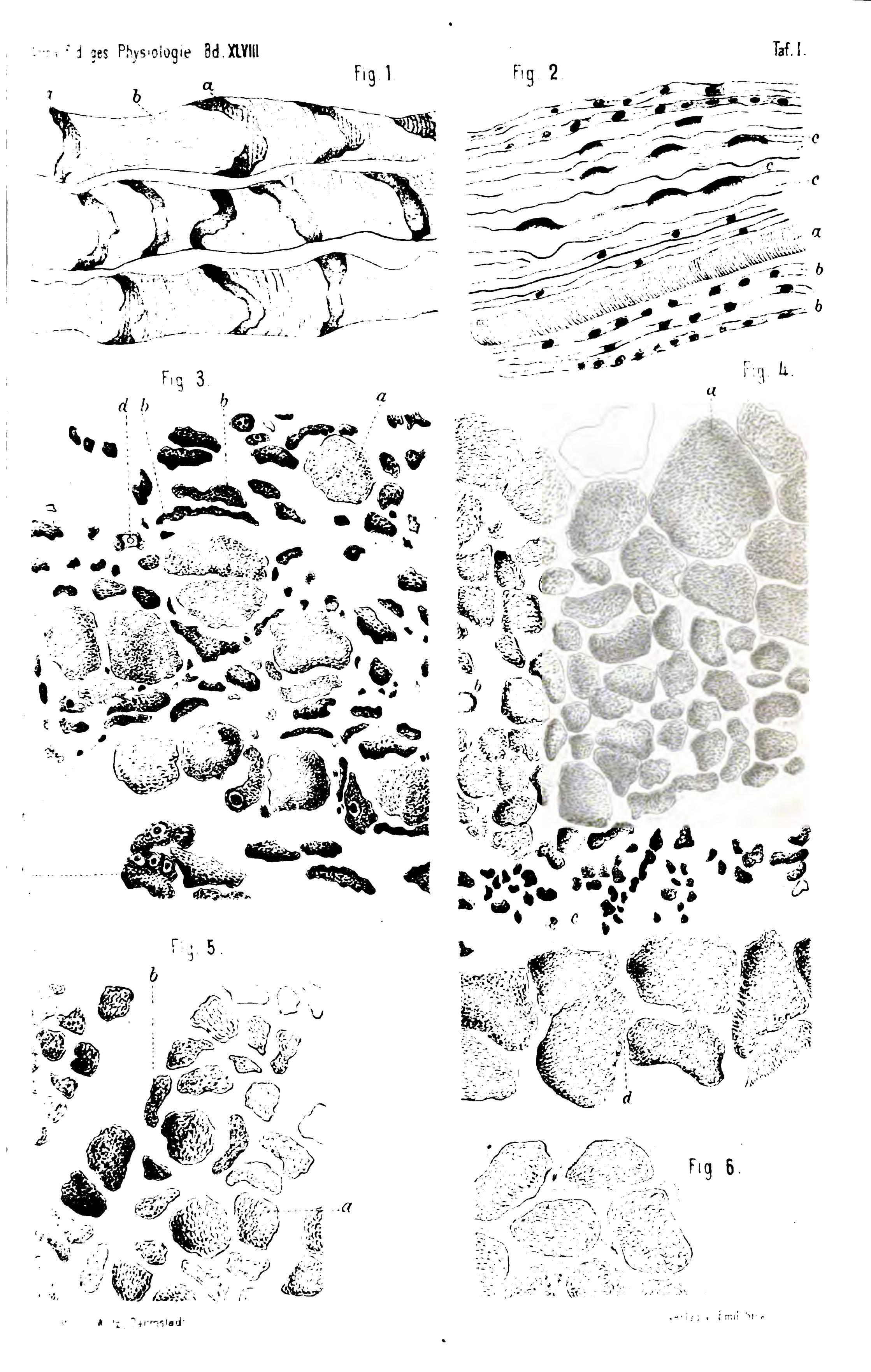
Ueber den Ort und den Vorgang der Carminabscheidung.

Von

Adolf Schmidt.

Hierzu Tafel II.

Seitdem durch Heidenhain die Thätigkeit der Epithelien der gewundenen Harnkanälchen bei der Secretion nachgewiesen wurde, hat sich die neuere Forschung auf dem Gebiete der Nierenphysiologie wesentlich damit befasst, festzustellen, an welcher Stelle des complicirten Drüsenapparates die Abscheidung der einzelnen normalen und abnormen Harnbestandtheile erfolgt. In der That sind wir durch eine Reihe sorgfältiger Untersuchungen, namentlich von Munk und Senator, vor Allen aber von Nussbaum, zu einer relativ befriedigenden Lösung dieser Frage für viele jener Bestandtheile gekommen, wenn auch für andere, z. B. das Eiweiss bei den verschiedenen Formen der Albuminurie, noch



Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. XLVIII
Taf. I.
Fig. 1
a
b
a
Fig. 2
c
c
c
a
b
b
Fig. 3
d
b
b
a
Fig. 4.
a
b
c
d
Fig. 5.
b
a
Fig. 6.
Verlag v. Emil Strauss



grosse Meinungsverschiedenheiten existiren. Anders ist es mit der Frage nach den Gesetzen und Bedingungen der secretorischen Thätigkeit der verschiedenen Zellen selbst und mit der Frage nach dem Wesen des Absonderungsvorganges, die Art und Weise, wie dieser Process verläuft. In ersterer Beziehung scheint eine Erklärung dafür, weshalb ein bestimmter Stoff von bestimmten Zellen abgeschieden wird, so lange noch in weite Ferne gerückt, als wir annehmen müssen, dass von den beiden Farbstoffen Indigocarmin und Carmin der eine von den Epithelien der gewundenen Kanälchen, der andere von denen des Glomerulus secernirt wird. In Bezug auf den eigentlichen Vorgang bei der Absonderung andererseits wissen wir heute nicht mehr, als dass wahrscheinlich alle Substanzen gelöst durchtreten. Vielleicht, dass die Auffindung des Bürstenbesatzes und die damit brennend gewordene Frage nach seiner functionellen Bedeutung uns in dieser Hinsicht Aufklärung verspricht.

Bereits in meiner Dissertation[1]) habe ich eine Reihe von Versuchen und Beobachtungen mitgetheilt, welche den Widerspruch in dem Verhalten des Indigocarmins und des Carmins zu lösen geeignet waren, indem sie auch für das letztere die Abscheidung durch die Epithelien der Tubuli contorti wahrscheinlich machten. Der Umstand, dass ich in diesem Frühjahr die damaligen Versuche weiter ausbauen konnte, und nicht nur in jener Frage zur völligen Gewissheit gelangt bin, sondern auch einige für die Auffassung des Secretionsvorganges selbst, wie ich glaube, nicht unwesentliche Beobachtungen machen konnte, veranlassen mich zur Mittheilung des Folgenden. Auch diese Untersuchungen wurden, wie die älteren, im pathologischen Institut zu Bonn gemacht. Herrn Professor Dr. Ribbert bin ich für die freundliche Anregung und Unterstützung, die er mir fortgesetzt hat zu Theil werden lassen, zu grossem Danke verpflichtet.

I. Der Ort der Carminabscheidung.

Schon bevor Heidenhain[2]) die Absonderung des indigoschwefelsauren Natriums in der Niere studirte, hatte Chrzonsz-

---

1) Beiträge zur Physiologie der Nierensecretion. Bonn 1889.

2) Arch. f. miskrosk. Anatomie Bd. 10, S. 1 und Pflüger's Arch. Bd. 9, S. 1.

czewsky[1]) Versuche mit dem Carmin gemacht, allerdings nur zu dem Zwecke, die damals noch viel discutirten anatomischen Verhältnisse der Niere klar zu legen. Er injicirte Kaninchen und anderen Thieren eine ammoniakalische Carminlösung ins Gefässsystem und unterband entweder sofort nach der Einspritzung die Nierengefässe — er erhielt dann den Farbstoff in den Gefässen der Niere, — oder er unterband nach einer Stunde den Ureter, durchspülte die Gefässe mit Kochsalzlösung und fand dann die Harnkanälchen gefüllt, während die Gefässe leer waren. Bei der letzteren Anordnung nun zeigte sich das Carmin als feinkörnige Masse im Capselraum und in den gewundenen Kanälchen, deren Epithelien wie bestäubt mit dem Farbstoff aussahen; in den übrigen Abschnitten lag es als compacte Masse (siehe die Abbildung der Chr.'schen Arbeit). Er schloss daraus, dass das Carmin in den Glomerulis gelöst abgeschieden und in den geraden Kanälchen, nach Eintritt der sauren Reaction des Harns, niedergeschlagen werde.

v. Wittich[2]), der schon früher zu der gleichen Anschauung gekommen war, nämlich, dass das Carmin in den Malpighischen Körperchen secernirt werde, untersuchte nach Heidenhain noch einmal die Frage. In Bezug auf die Harnkanälchen erhielt er wesentlich dieselben Bilder, wie Chrzonszczewsky: in den gewundenen fand er eine feinkörnige Auflagerung an der das Lumen begrenzenden Zellschicht, während die Zellen selbst stets ungefärbt blieben, in den geraden lagen compacte Schollen im Lumen. Etwas anders dagegen war das Verhalten der Glomeruli. Vor allem sah er niemals, wie Chrzonszczewsky, „rothe Massen ganz unabhängig von den Glomerulis der inneren Fläche der Kapsel aufliegen". Die Körnchen lagen immer nur auf dem Gefässknäuel, manchmal aber fehlten auch die Körnchen ganz, und es zeigte sich nur eine diffuse Röthung der Glomeruli, die sich „in seltenen Fällen" auch etwas über die Contouren des Gefässknäuels hinaus in den Kapselraum zu erstrecken schien. Eben diese diffuse Färbung der Glomeruli, die deshalb eine physiologische sei, weil sie sich von der postmortalen, bei der sich die Kerne färben sollten, unterscheide, und ferner der Umstand, dass die Zellen der gewundenen Kanäle selbst niemals gefärbt waren,

1) Virchow's Arch. Bd. 31, S. 153.

2) Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 11, S. 75.

führten auch v. Wittich zu dem Schluss, dass die Secretion des Carmins in die Malpighi'schen Körperchen zu verlegen sei.

Der dritte, welcher sich mit der Frage der Carminabscheidung beschäftigte, war Nussbaum[1]). Seine ausgezeichnete Untersuchungsmethode bestand darin, dass er bei Fröschen, deren Nierengefässsystem bekanntlich durch das Vorhandensein einer Nierenpfortader complicirt ist, die Nierenarterien unterband und dadurch die Glomeruli von der Durchströmung und natürlich auch der Secretion ausschloss. So konnte er unter den nöthigen Cautelen für jeden einzelnen ins Blutgefässsystem injicirten Stoff den Ausscheidungsort genau angeben. Der auf die Carminausscheidung bezügliche Passus seiner Arbeit lautet folgendermaassen[2]): „Bei unterbundenen Nierenarterien wird carminsaures Ammoniak nicht ausgeschieden. Bei völlig freier Circulation in der Niere erscheint es bald nach der Injection in die Vena abdom. ant. im Harn wieder."

Bei meinen eigenen Versuchen über den Abscheidungsort des Carmins bin ich nicht wesentlich von den Methoden der erwähnten Forscher abgewichen. Was zunächst die Versuche an der Säugethierniere betrifft, so benutzte ich Kaninchen und Katzen: den Thieren wurde die Farbstofflösung in die Ohrvene oder in die Vena jugular. injicirt. Innerhalb der nächsten $1^1/_2$ Stunden wurden sie getödtet, die Nieren sofort herausgenommen und theils frisch untersucht, theils zerschnitten in Alkohol, Sublimatlösung oder nach Posner'scher Vorschrift[3]) durch Kochen in Wasser fixirt und in Alkohol nachgehärtet.

Bei der mikroskopischen Untersuchung nun fand ich in den Harnkanälchen das Carmin ebenso gelagert vor, wie es Chrzonszczewsky und v. Wittich angeben. Ich kann daher von der Beschreibung hier absehen, um so mehr, als ich weiter unten des Genaueren darauf eingehen werde. Der wesentliche Unterschied beruht auf dem Verhalten der Glomeruli. Weder in den Kapselräumen, noch auf den Glomerulis, oder in den Schlingen desselben habe ich in zahlreichen Versuchen jemals ein Körnchen des Farb-

---

1) Pflüger's Arch. Bd. 16, S. 139 und 17, S. 580. — Anatom. Anzeiger 1886, No. 3. — Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 27, S. 469.

2) Pflüger's Arch. Bd. 17, S. 584 f.

3) Centralblatt f. d. med. Wiss. 1879, Nr. 29.

stoffes gesehen, wenn — und hier liegt zugleich die Erklärung für den Unterschied in der Beobachtung — eine klare, wirkliche Lösung des Farbstoffes injicirt war. Schon in meiner Dissertation habe ich auf die Fehlerquelle hingewiesen, der sowohl Chrzonszczewsky als v. Wittich infolge der von ihnen angewandten Farbstofflösung ausgesetzt waren. Die Chr.'sche Lösung, welche auch v. Wittich benutzte, soll nach folgender Vorschrift bereitet werden: „Die beste Lösung besteht aus 2 Drachmen Carmin, 1 Drachme Ammon. liquid. auf 1 Unze Aq. dest., und muss jedesmal frisch vorbereitet und sorgfältig filtrirt werden." Verfährt man so, so erhält man indess keine wirkliche Lösung. Immer finden sich darin mehr oder minder reichlich feinste Körnchen in Suspension, zu deren Nachweis es allerdings der mikroskopischen Untersuchung bedarf. Diese ausserordentlich feinen Körnchen finden sich in allen ammoniakalischen Carminflüssigkeiten, die mehr Carmin enthalten, als das angewandte Ammoniak zu lösen vermag, und sie gehen, wie ich mich wiederholt überzeugt habe, anstandslos durch die Poren eines einfachen, ja selbst eines doppelten Filters hindurch. Nun enthält aber die Chrzonszczewsky'sche Mischung zweifellos Carmin im Ueberschuss, und wenn auch die grössere Menge des Ungelösten auf dem Filter zurückbleibt, so wimmelt doch noch das Filtrat unter dem Mikroskop von den beschriebenen Körnchen. Genaue Angaben über das Lösungsverhältniss des Carmins zum Ammoniak kann ich zwar nicht machen, doch überzeugte ich mich, dass nicht einmal gleiche Theile eine völlig klare Lösung geben, bei einem spec. Gew. des Ammoniaks von 0,959. Diese Ammoniakflüssigkeit ist die gewöhnlich gebrauchte, und ich darf wohl annehmen, dass sich auch Chr. und v. W. ihrer bedient haben. Aber auch wenn sie eine stärkere Lösung benutzt haben, werden sie doch keine klare Carminlösung vor sich gehabt haben. Es wäre dann ja auch die Vorschrift, sorgfältig zu filtriren, völlig überflüssig. Da man, um eine klare Lösung zu erhalten, also nicht das Filter gebrauchen kann, so muss man die feine Suspension sich allmählich absetzen lassen, wozu es aber meist mehrerer Tage bedarf. Will man sicher gehen, so muss jede Lösung vor ihrer Anwendung unter dem Mikroskop controllirt werden. Es ist nun klar, dass man bei Anwendung der Chr.'schen Mischung überall im Gefässsystem und also auch in den Capillaren und Schlingen des

Glomerulus jene Körner wiederfinden wird[1]), und es fragt sich nur, ob so auch die Körner, welche Chrzonszczewsky im Kapselraum und v. Wittich auf dem Glomerulus gesehen haben, ihre Erklärung finden können.

Was den ersteren betrifft, so ist es wohl erlaubt, seinen diesbezüglichen Angaben mit Misstrauen zu begegnen, einmal weil er aus seinen Beobachtungen den Schluss zieht, dass die Henle'schen Schleifen, wenigstens deren absteigende Schenkel, nicht zu den Harnkanälchen gehören, während man doch auch in diesen den Farbstoff sehr wohl erkennen kann, und dann, weil er überhaupt nur mit schwachen Vergrösserungen untersucht hat und von einer genauen Durchmusterung der Malpighi'schen Körperchen nirgends berichtet. Auch v. Wittich fand jene Körner niemals im Kapselraum. Er schreibt nur, dass sie ihm „entschieden auf der Oberfläche des Glomerulus zu liegen schienen", doch konnte er aus der alleinigen Betrachtung dieser Körner nicht zur vollen Gewissheit über die Betheiligung der Glomeruli an der Farbstoffsecretion kommen. Diese brachte ihm vielmehr erst ein Versuch, wo er noch vor der Herausnahme die Nierengefässe mit conc. Chlorkaliumlösung ausspritzte. Er fand nur eine diffuse Röthung der Glomeruli, die er für entscheidend hält, — von der Anwesenheit jener Körner bei diesem Versuche erwähnt er nichts. Es scheint danach, als wenn auch bei den übrigen Versuchen v. Wittich's, bei denen er keine Ausspritzung vornahm, die Körner nicht auf, sondern in den Glomerulusschlingen gelegen haben, zumal wenn man noch hinzunimmt, dass er sie auch dann niemals bemerkte, wenn wirklich nur gelöster Farbstoff im Blute circulirt hatte, nämlich, wenn er das Carmin nicht in das Gefässsystem, sondern in den Oesophagus oder die Lungen eingeführt hatte. Es war eben dann nur das wirklich gelöste Carmin resorbirt worden, und jene Körner im Glomerulus nicht zu finden. Ich habe einen anderen Weg eingeschlagen, indem ich die Lösungen stets vorher unter dem Mikroskop controllirte, und statt der zweifelhaften ammoniakalischen Carminlösung klare Lösungen von Lithiumcarmin und namentlich carminsaurem Natrium, das den grossen Vorzug hat, weniger schädlich zu wirken, ins Gefäss-

1) Taf. II, Fig. 1 stammt aus einem Versuch mit unklarer Carminlösung. Man sieht bei d jene Körner in den Gefässschlingen.

system injicirte. In zahlreichen derartigen Versuchen habe ich niemals jene Körner im Gefässsystem oder in den Malpighi'schen Körperchen gefunden.

Ich glaube, dass damit eine sehr wesentliche Stütze für die Anschauung jener beiden Forscher fallen muss, und es bleibt noch zu entscheiden, ob die diffuse Röthung der Glomeruli, auf die v. Wittich schliesslich recurrirte, als Ausscheidungserscheinung gedeutet werden kann. Um wahrscheinlich zu machen, dass diese diffuse Röthung nicht auf postmortaler Imbibition beruhe, sondern von der physiologischer Weise transsudirten Farbstofflösung herrühre, führt v. W. hauptsächlich an, dass hier keine Kernfärbung vorhanden sei, während sie an den Capillarwänden, wo der erstere Vorgang stattgefunden habe, vorhanden sei; ferner, dass bei künstlicher, post mortem erzeugter Imbibition auch im Glomerulus die Kerne gefärbt sind. Dass die Glomeruli diffuse Röthung zeigen, ist richtig und auch von mir oft beobachtet worden; dass aber diese Färbung sich von der der anderen Gefässwände und überhaupt des gesammten Bindegewebes wesentlich unterscheide, muss ich bestreiten. Da ich im nächsten Capitel bei der genaueren Besprechung des Farbstoffes auch auf die Diffusionsverhältnisse noch näher eingehen werde, so möchte ich hier nur vorläufig bemerken, dass es gar nicht gelingt, den in den Blutgefässen vorhandenen gelösten Farbstoff daselbst durch die gewöhnlichen Fixationsmethoden zu fixiren, dass man vielmehr, vorausgesetzt, dass grössere Mengen Carmin injicirt waren, das gesammte Bindegewebe des Körpers nach dem Tode diffus geröthet vorfindet, und dass desshalb unmöglich aus der Färbung der Glomeruli irgendwie auf Secretion geschlossen werden kann. Eine Kernfärbung, d. h. eine etwas stärkere Färbung der Kerne findet sich stets nur, wenn eine sehr concentrirte Farbstofflösung vom Blute aus oder anderweitig auf die Gewebe eingewirkt hat. Wenn ferner v. Wittich „in seltenen Fällen", insbesondere in jenem entscheidenden Versuch, eine diffuse Röthung im Kapselraum gesehen hat, so kann ich mir eine solche ohne ein gefärbtes Substrat nicht wohl vorstellen, da doch in einem Schnitte aus der gehärteten Niere unmöglich Flüssigkeit im Kapselraum vorhanden gewesen kann. Ueber ein solches Substrat, etwa geronnenes Eiweiss oder Fibrin, berichtet aber v. W. nichts; vielmehr theilt er selbst die Ansicht, dass das Carmin gelöst in den Glomerulis hindurchtrete. Wäre das richtig, so bliebe

schliesslich auch noch die Erklärung dafür zu erbringen, weshalb dann in den übrigen Theilen des Drüsenapparates, in sämmtlichen Harnkanälchen, der Farbstoff körnig enthalten ist. v. Wittich selbst hebt hervor, dass von einer postmortalen Fällung durch Säuren hier keine Rede sein kann, und ich werde unten weiter ausführen, dass es sich dabei überhaupt nicht um ausgefallenen Farbstoff handelt, sondern dass ein ganz anderer eigenartiger Vorgang stattfindet.

Wenn somit die bisherigen Beobachtungen über die Carminabscheidung in der Säugethierniere entschieden nicht die Deutung verdienen, dass das Carmin in den Glomerulis secernirt werde, so schien mir doch der Beweis, dass es von den Epithelien der gewundenen Kanälchen ausgeschieden werde, so lange noch nicht erbracht zu sein, als es nicht gelang, auch für die erwähnten Versuche Nussbaums an der Froschniere eine befriedigende Erklärung zu finden und womöglich noch eine directe Beobachtung der Ausscheidung durch die Epithelien zu gewinnen.

Wenn Nussbaum nach Ausschaltung der Glomeruli von der Circulation das injicirte Carmin niemals, dagegen das Indigocarmin regelmässig in dem zweiten dorsalen Abschnitte der Harnkanälchen abgeschieden vorfand, so schien dadurch im Gegentheil bewiesen, dass jenes von dem Glomerulusepithel secernirt werde. Zwar benutzte Nussbaum dieselbe ammoniakalische Carminlösung wie auch Chrzonszczewsky, doch kam diese als Fehlerquelle bei seiner Versuchsanordnung natürlich nicht in Betracht. Ich sah mich also genöthigt, auch seine Versuche zu wiederholen und habe eine grosse Anzahl Frösche nach der von ihm genau beschriebenen Methode [1]) operirt. Es wurden grosse weibliche Exemplare von Rana esculenta verwendet. Die Unterbindung der Nierenarterien geschah meist doppelt, so dass ich in der Mitte durchschneiden konnte. Dabei war ich bestrebt, die eine Fadenschlinge, wie Nussbaum angiebt, möglichst weit von dem Ursprunge aus der Aorta ab zu legen, um den Rückfluss aus der Anastomose der Ovarialarterien zu vermeiden. Um ganz sicher zu sein, habe ich bei einer Anzahl schwangerer Thiere ausserdem die Ovarien an ihrem Stiele unterbunden und entfernt. Es wurden ½ bis 2 ccm einer klaren Lösung von carminsaurem Ammoniak,

1) Pflüger's Arch. Bd. 17, S. 582.

Lithiumcarmin, Boraxcarmin oder carminsaurem Natrium in die Vena abdom. ant. injicirt. Nach Vernähung der Kloake wurden die Frösche ins Wasser gesetzt und nach verschieden langer Zeit, die bei den meisten Versuchen zwischen 3 und 7 Stunden schwankte, getödtet. Kurz vor dem Tode nochmals eine Farbstoffinjection zu machen, wie es Nussbaum gethan, habe ich unterlassen, u. z. weil stets noch so grosse Mengen Farbstoff in dem Gefässsystem vorhanden waren, dass eine erneute Injection desselben Farbstoffes überflüssig war, während ein anderer Farbstoff, etwa Indigocarmin, die Bilder nur complicirt hätte. Man findet bei der Untersuchung nachher die Wände aller jener Gefässe, in denen Carmin überhaupt circulirt hat, diffus geröthet vor. Die Glomeruli dagegen, deren Schlingen von Blutkörperchen ausgefüllt sind, bleiben farblos.

Um zu den Resultaten zu kommen, so erhielt ich, wenn ich in der angegebenen Weise verfuhr, stets dasselbe Ergebnis wie Nussbaum: die Harnblase war leer geblieben, und in den Nieren liess sich an keiner Stelle abgeschiedenes Carmin in den Kanälchen nachweisen. Wesentlich anders dagegen gestaltete sich der Erfolg, wenn ich mit dem Farbstoff zugleich etwas Harnstofflösung, durchschnittlich etwa $^1/_2$ ccm einer 10% Lösung injicirte. Ich fand dann ziemlich regelmässig in der Blase rothen Harn vor, und die mikroskopische Untersuchung der gehärteten Niere ergab — wenn auch in geringerer Ausdehnung — dieselben Abscheidungsbilder, wie bei freien Nierenarterien.

Es ist nicht ganz leicht, zu einer richtigen Erklärung dieses Ergebnisses zu gelangen. Zwar ist es von vorn herein klar, dass nur die Epithelien der gewundenen Harnkanälchen den rothen Harn geliefert haben konnten. Aber man könnte daran denken, dass der Harnstoff, dessen stimmulirende Wirkung auf die Epithelien der gewundenen Kanälchen durch Munks und Nussbaums Versuche genügend bekannt ist, mit dem Wasser, dessen er zu seiner Lösung bedarf, zugleich das gelöste Carmin durch die Epithelien hindurch mit sich gerissen habe, dass er gewissermassen die Epithelien zu einer secretorischen Thätigkeit veranlasst habe, die ihnen normaler Weise nicht zukommt. Doch dem widerspricht ein anderer Versuch Nussbaums, der darauf basirt, dass bekanntlich nach Unterbindung der Nierenarterien auch beim Frosch schon sehr bald Albuminurie eintritt. Wurde nun nach Unterbindung

Harnstoff injicirt, so blieb der dann reichlich abgesonderte Harn so lange eiweissfrei, bis die Circulation in den Glomerulis wiederhergestellt war. Also das bei dieser Versuchsanordnung gelöst durch die Glomeruli hindurchtretende Eiweiss vermochte der Harnstoff durch die Epithelien nicht mit sich zu reissen. Und für das Carmin sollte er es können?

Ich weiss wohl, dass es nicht erlaubt sein kann, das Carmin und das nach Ernährungsstörungen der Glomeruli auftretende Eiweiss in dieser Weise in Parallele zu stellen, aber ebensowenig scheint es mir gerathen, auf der anderen Seite die Analogie mit dem Indigocarmin zu weit zu treiben. Wenn das Indigocarmin nach unterbundenen Nierenarterien von den secretorischen Epithelien noch sehr leicht abgeschieden wird, so braucht das für das Carmin nicht ebenso zu sein. Vielmehr weisen eine grosse Reihe von Erfahrungen [1]) darauf hin, dass das letztere viel schwerer und langsamer abgesondert wird, und also grössere Anforderungen an die Function der Epithelien stellt, als das indigoschwefelsaure Natrium, und es ist ganz gut denkbar, dass die wenn auch geringe Ernährungsstörung, welche die Epithelien nach der Absperrung des arteriellen Zuflusses nothwendig erleiden müssen, genügt, die Carminabscheidung zu verhindern. Es bedarf erst der Stimulation durch den eingeführten Harnstoff, um sie von Neuem hervorzurufen. Mir scheint diese Erklärung deshalb ziemlich plausibel, weil die geforderte Ernährungsstörung nicht blos a priori wahrscheinlich ist, sondern weil man mehrere Stunden nach Unterbindung der Nierenarterien fast immer Schädigungen der in Frage stehenden Epithelien nachweisen kann: der Bürstensaum ist nur mangelhaft erhalten, der innere Theil der Zelle häufig aufgelockert und nicht scharf markirt. Nur wenige Zellen zeigen ein normales Aussehen.

Nach alledem glaube ich, dass auch das Hinderniss, welches die Nussbaum'schen Versuche der Auffassung entgegenzustellen schienen, dass das Carmin denselben Weg in den Nieren wandele, wie das indigoschwefelsaure Natrium und die specifischen Bestandtheile des Harnes, kein unüberwindliches ist, und ich kann dazu übergehen, die positiven Befunde, welche mich das Carmin in den

---

1) Ich verweise nur auf v. Wittich's diesbezügliche Versuche l. c. S. 80.

Epithelzellen beobachten liessen, und welche mir auch einen geringen Einblick in das Wesen des Abscheidungsvorganges selbst gewährten, zu beschreiben. Bevor ich aber die mikroskopischen Bilder erläutere, scheint es mir unumgänglich nothwendig, auf die Löslichkeitsverhältnisse des Carmins und sein Verhalten im Organismus wenigstens kurz einzugehen, weil man nur so zu einer klaren Beurtheilung der Diffusionsverhältnisse einerseits und der Ausscheidungsvorgänge andrerseits gelangen kann, und weil genauere Angaben über diese Verhältnisse in der Literatur bisher fehlen.

II. Der Carminfarbstoff und sein Verhalten im Organismus.

Die Darstellung der feineren Sorten des Carmins, die als Carmin-Narkarate in den Handel kommen, aus der Cochenille, wird, wie es scheint, von den Fabrikanten geheim gehalten. Wenigstens konnte ich durch eine Anfrage von dem Lieferanten von G. Grübler in Leipzig, von welcher Firma ich das Carmin bezog, keine Auskunft erhalten. In den Handwörterbüchern der Chemie werden allerdings verschiedene Bereitungsmethoden angegeben, doch existiren offenbar nicht geringe Differenzen unter den besseren Sorten, die auf verschiedene Fabrikationsmethoden hinweisen. Auch in der mikroskopischen Färbetechnik ist die verschiedene Güte der einzelnen Präparate bereits von Schiefferdecker[1]) und anderen unangenehm bemerkt worden. Liebermann[2]), der in neuerer Zeit das Carmin einer chemischen Prüfung unterzog, weist auf die vielen falschen Angaben über dasselbe in den Handwörterbüchern der Chemie hin und bezeichnet das Carmin als eine Thonerde- Kalk- proteinverbindung des Carminfarbstoffes. Die genaue Analyse ergab 20% N haltige Substanz, 7% Asche, 50% Farbstoff und 17% Wasser. Das Carmin ist in Wasser und Alkohol fast völlig unlöslich, doch bildet es mit beiden eine ausserordentlich feine Emulsion, die durch ein gewöhnliches Filter hindurchgeht. Leicht löslich ist es dagegen, wie bekannt, in Alkalien, und die älteste bekannte Färbelösung für mikroskopische Zwecke ist die

---

1) Das Mikroskop und die Methoden der mikroskop. Untersuchung. Braunschweig 1889, I., S. 191.

2) Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1885, S. 1969.

ammoniakalische Carminlösung, auf deren besonderes Verhalten ich bereits oben hingewiesen habe. Jene farbigen Körnchen dieser Verbindung, die sich beim Stehen allmählich absetzen, wurden von Betz[1]) genauer untersucht und als albuminartige Verbindungen erkannt. Für die Injectionsversuche beim Thier ist die ammoniakalische Carminlösung noch deshalb besonders ungeeignet, weil sie, um sicher klar zu sein, leicht einen Ueberschuss von Ammoniak erfordert, dessen grosse Giftigkeit für den Organismus bekannt ist. Besser bewähren sich die Lösungen in Lithiumcarbonat und Borax, wie sie in der Mikroskopie gebraucht werden, doch schien es mir, als wenn wenigstens die erstere stets sehr langsam von der Niere abgeschieden werde. Am zweckmässigsten für Injectionsversuche ist jedenfalls das carminsaure Natrium — besser Natroncarmin — von Maschke, das durch Behandlung mit Natronlauge aus dem gewöhnlichen Carmin dargestellt wird. Allen diesen Alkaliverbindungen des Carmins ist gemeinsam, dass sie sich im trockenen Zustande sehr leicht in Wasser lösen, während sie aus der Lösung durch Alkohol und durch Essigsäure mehr oder minder langsam flockig gefällt werden. Ob der Essigsäureniederschlag noch die ursprüngliche Verbindung darstellt, kann ich nicht entscheiden. Durch Mineralsäuren wird aus den alkalischen Lösungen eine unlösliche Verbindung gefällt, welche nach Liebermann einen Lack des Farbstoffes darstellt. Erst beim Erwärmen mit stärkeren Mineralsäuren wird der eigentliche Farbstoff frei und bleibt dann mit rothbrauner Farbe in Lösung. Vermuthlich ist dieser Farbstoff mit der Carminsäure identisch, einer amorphen rothbraunen Masse, die sich leicht in Wasser und Alkohol löst, durch conc. Säuren nicht zerstört wird und nach den Handbüchern ein Glycosid ist, das sich bei längerem Kochen mit verdünnter Schwefelsäure in Zucker und Carminroth spaltet. Von Wichtigkeit ist, dass diese Carminsäure durch nascirenden Wasserstoff reducirt wird und sich an der Luft und durch Salpetersäure wieder färbt. Die gleiche Reaction, bei Behandlung mit Zinkstaub, gibt auch das Natroncarmin.

Für die Versuche im Thierkörper kommt übrigens das Reductionsvermögen der verschiedenen Zellen den eingeführten Farbstoffen gegenüber nicht in Betracht, wie etwa beim Indigocarmin

1) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 9, S. 113.

oder den von Ehrlich untersuchten Farbstoffen. Wenigstens ist es mir niemals gelungen, bei Luftzutritt oder durch Behandlung mit oxydirenden Substanzen eine Veränderung der Färbung an den einzelnen Organen, insbesondere der Niere zu constatiren, so sehr ich auch durch das Farblosbleiben der Epithelzellen selbst in der Säugethierniere versucht war, an einen Reductionsvorgang zu denken.

Was nun das Verhalten des Farbstoffes im Organismus betrifft, so ist es zunächst von Wichtigkeit, dass die injicirten Farbstoffe — es handelt sich dabei wesentlich nur noch um das Ammoniakcarmin und das Natroncarmin — ausschliesslich von den Nieren abgeschieden werden. Speichel, Schweiss und die Darmsecrete sind stets farblos. Im Harn erscheinen die Farbstoffe, wie an den verschiedenen Nuancen des Farbentones am besten erkannt werden kann, als solche wieder und zwar stets gelöst, mag nun die Reaction sauer oder alkalisch sein. Selbst durch sehr concentrirten sauren und alkalischen Harn gelingt es nicht, den Farbstoff aus der Lösung zu fällen, wie ich gegenüber Chrzonszczewsky besonders betonen möchte; und das ist, wie sich weiter zeigen wird, von Wichtigkeit für den Befund des körnigen Farbstoffes in der Niere.

Im Blute circulirt der Farbstoff — vorausgesetzt, dass klare Lösungen angewendet waren — stets nur im Serum gelöst und unverändert. Schon v. Wittich überzeugte sich durch besondere Versuche, dass das Serum durch das Ammoniakcarmin keine andere Veränderung erleide, als eine Herabsetzung der Gerinnungsfähigkeit, und dass es andererseits den Farbstoff nicht wie das Indigocarmin zu reduciren vermöge. Nach dem Tode findet man, auch wenn das Gefässsystem ganz mit Farbstofflösung überschwemmt war, nirgends Farbstoffniederschläge im Blute selbst oder in den Gefässen vor, mag man nun die Organe frisch oder im gehärteten Zustande untersuchen. Daraus geht zunächst hervor, dass es bei Anwendung der gewöhnlichen Fixationsmittel (Kochen, Alkohol, angesäuerter Alkohol) nicht gelingt, den Farbstoff in den Gefässen niederzuschlagen, wie schon Heidenhain[1]) ganz richtig bemerkte[2]). Es geht aber ferner daraus hervor, dass nur die über-

1) Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. 10, S. 31.

2) Die entgegenstehenden Angaben Chrzonszczewsky's, der, wenn er schnell die Gefässe abgebunden hatte, die Capillaren mit Farbstoff in-

schnelle Diffusion des Farbstoffes in das umgebende Gewebe die Ursache sein kann. Denn, wie wir gesehen haben, fällt der Alkohol in der That Ammoniakcarmin und Natroncarmin aus ihren Lösungen, wenn auch nicht sehr schnell. Ausserdem würden sich aber die Blutzellen, vor allem die weissen, die während des Lebens ebenso wie die übrigen Zellen ungefärbt bleiben, nach dem Tode sehr schnell mit dem Farbstoff aus dem umgebenden Serum imbibiren, wie es z. B. in einem Blutstropfen vom injicirten Thiere der Fall ist. Thatsächlich findet man nur sehr selten einzelne derselben gefärbt vor. Ich will darum nicht behaupten, dass es überhaupt nicht gelingen kann, den Farbstoff in den Gefässen zu fixiren — bei Anwendung von Sublimatlösung z. B. findet man, wenn auch keine Farbstoffkörnchen, so doch gefärbte Niederschläge viel häufiger —, bei. der gewöhnlichen Alkoholhärtung verhindert die schnelle Diffusion in das umgebende Gewebe die Fixation.

Daher findet man nach dem Tode auch stets das gesammte Bindegewebe des Thierkörpers mehr oder weniger stark diffus geröthet vor. Die Intensität ist abhängig von der Menge des injicirten Farbstoffes, doch bekommt man recht schöne Ausscheidungsbilder auch bei Quantitäten, die nur eine kaum merkliche Röthung hervorbringen (vgl. die Abbildungen Taf. II). Die Färbung ist dieselbe, wie bei der gewöhnlichen mikroskopischen Färbemethode, bei der auch die Kerne nur um ein sehr weniges intensiver tingirt werden. Da aber die Farbstoffmengen bei der ersteren, sagen wir vasculären Methode, stets nur begrenzt sind, so treten hier die Kerne nur selten etwas hervor, wenn nicht, was einzeln vorkommen mag, schon vor dem allgemeinen Tode die Zellen abgestorben waren. So erklären sich die kleinen Differenzen in der Färbung der Glomeruli, die, wie wir gesehen haben, v. Wittich mit Unrecht für die Ausscheidung durch die Glomeruli zu verwerthen suchte. Gegenüber dem Bindegewebe nun zeigen sich sämmtliche Parenchymzellen, so weit sie nicht ebenfalls intra vitam abgestorben waren, p. mort. ungefärbt, selbst

---

jicirt vorfand, und Nussbaum's, der sich allerdings nicht deutlich darüber ausspricht, ob er in den Gefässen selbst Farbstoff gesehen hat, lassen sich nur durch die Anwendung jener ammoniakalischen Carminsuspension erklären.

wenn das direct umgebende Bindegewebe lebhaft roth ist. Für die Nierenepithelien ist diese Thatsache schon von sämmtlichen anderen Beobachtern übereinstimmend hervorgehoben worden. Ich habe auch andere Organe: Leber, Magen, Speicheldrüsen, Haut etc. untersucht und niemals, auch bei stärkster Bindegewebsfärbung, eine Imbibition der Drüsenzellen gefunden. Da indess diese Zellen in Schnitten gehärteter Organe ebenso tinctionsfähig sind, wie alle übrigen, so lässt sich das differente Verhalten gegenüber dem Bindegewebe bei der Färbung von den Gefässen aus nur auf zweierlei Weise erklären: entweder färbt sich das letztere bereits intra vitam, oder seine Attractionskraft für den Farbstoff ist eine so viel grössere, dass es von dem begrenzten Vorrath in den Gefässen den Parenchymzellen nichts übrig lässt. Wir mir scheint, hat die letztere Annahme die grössere Wahrscheinlichkeit für sich, schon deshalb, weil, wenn die Thiere am Leben bleiben, schliesslich aller Farbstoff wieder ausgeschieden wird. Auch folgender Versuch spricht dafür. Injicirt man 2 Fröschen die gleichen Mengen Carminlösung und spült, ehe man sie nach 7 Stunden tödtet, das Gefässsystem des einen vorher mit physiologischer Kochsalzlösung aus, so findet man bei diesem das Bindegewebe farblos, während es bei dem anderen gefärbt ist. Also nur die grössere Aufnahmefähigkeit des todten Bindegewebes bedingt jene Differenzen.

Um also kurz zusammenzufassen, so zeigt sich, dass Thiere, denen klare Lösungen von Carmin ins Blutgefässsystem injicirt wurden, den Farbstoff gelöst im Harn abscheiden. Nach dem Tode findet man bei den gebräuchlichen Fixationsmethoden nirgends ausgefallenen Farbstoff vor: das Bindegewebe ist schwach diffus geröthet, während die Parenchymzellen farblos bleiben. Es leuchtet sofort ein, welche Bedeutung diesem Befund zukommt, wenn man sich daran erinnert, dass dennoch sowohl die früheren Forscher wie ich stets körniges Carmin in der Niere vorgefunden haben. Es muss eine besondere Lebensthätigkeit der Zelle dabei im Spiele sein, und diese Voraussetzung trifft in der That, wie sich später zeigen wird, zu.

Schon Chrzonszczewsky suchte sich eine Erklärung in der — allerdings falschen — Annahme, dass die saure Reaction des Harns und des Nierengewebes den Farbstoff hier niederschlage. Auch v. Wittich konnte sich über die Schwierigkeit, diese Verhältnisse zu deuten, nicht hinwegsetzen. Nachdem er selbst her-

vorgehoben, dass der feinkörnige Farbstoff in den Nieren nicht „einer postmortalen Fällung seine Entstehung verdanken“ kann, weist er zum Schluss darauf hin, dass bereits Gerlach hervorgehoben habe, dass lebende Zellen das Cärmin gar nicht aufnehmen und dass auch in den abgestorbenen sich zunächst nur die Kerne färben. „Es bleibt daher immer wohl denkbar“, sagt er, „dass auch während des Lebens das Carmin die Drüsenzellen durchsetzt, in ihnen aber nicht die für seine Fixirung günstigen Bedingungen vorfindet“. „Anders allerdings“, fügt er hinzu, „müsste sich dann das Protoplasma dem Indigo gegenüber verhalten, auch im Leben müsste jenes die Bedingungen enthalten, diesen länger festzuhalten“.

Was das Verhalten des Indigocarmins betrifft, so erübrigt es noch, zur Vergleichung kurz auf dasselbe einzugehen. Wie Heidenhain[1]) zeigte, geht die Abscheidung in den Nieren der Säugethiere hier so vor sich, dass die Epithelien der gewundenen Kanälchen sich zunächst mit dem Farbstoff imbibiren und ihn dann nach dem Lumen zu „secerniren“, während die Kerne noch eine längere Zeit gefärbt bleiben. Die Zellen der geraden Kanälchen dagegen bleiben ungefärbt. Alle späteren Forscher haben diese Angaben Heidenhain's bestätigt, und nur der Umstand ist bemerkenswerth, dass bei Fröschen sowohl wie bei Fischen und Vögeln nach Nussbaum[2]) die secretorischen Zellen stets ungefärbt bleiben. Man ist natürlich leicht geneigt, auch für die Säugethierniere an Diffusionsvorgänge zu denken, die sich vielleicht trotz aller Sorgfalt nicht vermeiden lassen, insbesondere, da selbst Heidenhain auf die grosse Diffusionsfähigkeit des Indigocarmins hinweist. v. Wittich spricht sich direct dahin aus, dass die Bläuung der Zellen nichts für die Ausscheidung beweise. Da aber auch Nussbaum in der Säugethierniere stets Bläuung der secretorischen Zellen vorfand, und da ausserdem das indigoschwefelsaure Natrium p. m. besser fixirt werden kann, als das Carmin, so liegt insbesondere für mich, der ich keine genügenden eigenen Erfahrungen über diesen Farbstoff besitze, kein Grund vor, jene Färbung für eine Diffusionserscheinung zu halten. Man könnte mit Nussbaum daran denken, dass die Unterschiede in der Art

1) Pflüger's Arch. Bd. 9, S. 21.

2) Arch. f. mikr. Anat. Bd. 27, S. 464.

der Ausscheidung entweder „durch stärkere Reduction des Indigo in den Nieren der niederen Thiere, oder durch langsamere Secretion bedingt seien“. Jedenfalls kommt hier als ein sehr wesentlicher Factor das Reductionsvermögen der secretorischen Zellen mit in Betracht und erschwert es, einen Vergleich mit den Verhältnissen bei der Ausscheidung des Carmins anzustellen.

III. Der Vorgang der Carminabsonderung.

In welcher Beziehung steht das feinkörnig abgeschiedene Carmin, das, wie erwähnt, einige Zeit nach der Injection in den gewundenen Kanälchen der Säugethierniere gefunden wird, zu den Epithelzellen und woraus besteht es? Das ist die Frage, die nach so vielen vorbereitenden Bemerkungen jetzt zu beantworten bleibt.

Zum genaueren mikroskopischen Studium der Ausscheidungsbilder — um das voraus zu bemerken — liessen sich neben den in Sublimatlösung fixirten Nieren recht gut auch die nach Posner gekochten verwenden. Zur Färbung diente das Heidenhain'sche Verfahren mit Hämatoxylin und chromsaurem Kali oder die von Lorenz verwendete Methylenblaulösung[1]). Es gelang mir so, recht zierliche Bilder zu erhalten, die namentlich auch den Bürstenbesatz der Epithelzellen meist recht deutlich erkennen liessen.

Schon bei schwachen Vergrösserungen erkennt man, dass die feine Bestäubung der Epithelien mit Carmin — es haben natürlich immer nur eine Anzahl Kanälchen Farbstoff abgeschieden, während ein anderer Theil frei ist — sich in eine perlschnurartige Anlagerung feinster rother Körnchen an den Innenrand der Epithelien auflöst (cf. Taf. II, Fig. 1). Bei stärkeren Vergrösserungen zeigt sich, dass diese Körnchen in sehr verschiedener Grösse am inneren Rand des Bürstensaumes liegen, aber nur, wenn die Ausscheidung eine weniger reichliche ist. Bei starker Ausscheidung sieht man in vielen Kanälen eine zweite Körnchenleiste aus viel feineren Körnern parallel der ersteren verlaufend eine kleine Strecke weit nach dem Basaltheile zu. Es ist unschwer zu erkennen, dass diese dem äusseren Rande des Bürstenbesatzes, der Grenze zwischen dem Besatze und dem Zellleibe, entspricht. Im Zellleib sieht man in den meisten Fällen nichts von einer Färbung oder einem Körnchen. Nur in sehr prägnanten Bildern, die nicht ge-

1) Zeitschrift f. klin. Medicin Bd. 15, Heft 5 und 6, S. 1.

rade häufig sind, glaubte ich auch hier, aber immer nur im inneren Drittel, also in der Region zwischen Besatz und Kern, wenige feinste Carminkörnchen zu bemerken. Die äusseren Theile der Zelle sind ausnahmslos frei davon. Der Bürstenbesatz selbst ist meist schwach geröthet, er erschien meist homogen, und nur an wenigen Punkten sah man auch in ihm einige Carminkörner, die dann, in einer senkrechten Reihe geordnet, beide Grenzen zu verbinden schienen. Diese Bilder (cf. Taf. II, Fig. 2) sind ausserordentlich zierlich und charakteristisch, aber sie sind relativ selten. Ist nämlich die Abscheidung des Carmins spärlicher erfolgt, so findet sich die zweite Körnchenreihe an der Grenze zwischen Zellleib und Bürstenbesatz nicht; nur die innere ist zu sehen, während der Saum selbst mehr oder minder gefärbt ist. Der Grad dieser Färbung ist sehr verschieden: manchmal ist er völlig blass, obgleich eine Reihe starker Carminkörnchen am Lumen liegt, oder er ist tief roth, während nur sehr wenig Körnchen vorhanden sind. Den geringsten Grad der Ausscheidung schienen mir solche Bilder zu repräsentiren, in denen der Saum nur schwach roth gefärbt war, ohne dass sich körniges Carmin fand. So findet man die verschiedensten Uebergänge von völlig freien Kanälchen bis zur voll entwickelten Doppelreihe, die allerdings leichter zu beschreiben als zu deuten sind.

Zuvor möchte ich noch das Verhalten der Henle'schen Schleifen, der geraden Kanälchen und der Ausführungsgänge besprechen. Nicht immer findet man in ihnen Carmin vor, auch wenn es in den gewundenen reichlich abgeschieden ist. Wo man es aber findet, lagert es immer in compacteren Massen, deren Entstehung durch Zusammenballen jener feinsten Körnchen in den gewundenen wohl wahrscheinlich, aber nicht immer mehr deutlich erkennbar ist. Nirgends tritt der Farbstoff hier in eine so nahe Beziehung zu den Epithelien; er liegt im Lumen oder am Lumen und markirt allenfalls die inneren Zellgrenzen, ohne sich aber weiter zwischen die Zellen zu erstrecken (cf. Taf. II, Fig. 4). Hier kann ich also nur das bestätigen, was auch die älteren Forscher schon abgebildet haben.

Um was handelt es sich nun bei dieser Farbstoffabscheidung, und was sind jene feinsten rothen Körner? Dass dem Bürstensaum eine physiologische Bedeutung für die Secretion zukommt, geht aus jenen Bildern evident hervor; worin aber seine func-

tionelle Thätigkeit besteht, darüber geben sie keinen Aufschluss. Denn irgend einen anatomischen Unterschied zwischen den Säumen jener Zellen, oder besser Kanälchen, die Carmin abgeschieden hatten, und den anderen, die frei waren, habe ich niemals trotz aller darauf gerichteten Aufmerksamkeit erkennen können, und ich muss also der sonst sehr plausiblen Ansicht Tornier's[1]), der sich auch Hansemann[2]) angeschlossen hat, dass das Erscheinen des Stäbchensaumes oder sein Verschwinden, wie letzterer will, von der Secretionsthätigkeit der Zellen abhänge, widersprechen. Weiter möchte ich mich aber auf Erklärungsversuche, die doch nur Vermuthungen bringen können, an dieser Stelle nicht einlassen. Nur so viel sei noch bemerkt, dass die Röthung des Saumes nicht etwa auf Diffusion von den an ihm liegenden Farbstoffkörnchen beruhen kann. Denn einmal ist die Färbung eine verschieden intensive, ganz unabhängig von den vorhandenen Carminmengen, und dann ist ja der angrenzende Zellleib niemals gefärbt.

Aber es wird auch von jenen rothen Körnchen überhaupt keine Diffusion ausgehen können, denn diese können nach dem, was im vorigen Capitel genauer ausgeführt wurde, überhaupt kein ausgefallener Farbstoff sein. Selbst im Schnitte aus der frischen Niere ändert sich das Aussehen dieser Körnchen durchaus nicht, auch wenn Kochsalzlösung oder Wasser hinzugesetzt wurde. Zum Ueberfluss sei noch hinzugefügt, dass sie auch in ihrer mikroskopischen Erscheinung von dem körnigen Carmin durchaus abweichen. Während jenes nur bei stärkeren Vergrösserungen roth durchscheint und bei schwachen schwarz aussieht, sind diese Körner auch im letzteren Falle deulich roth. Schon dieser Umstand weist deutlich darauf hin, dass sie den Farbstoff nur in verdünnter Form enthalten. Löst man nun die Körner langsam unter dem Mikroskop in dünner Ammoniaklösung, wobei das diffus gefärbte Gewebe sich nicht entfärbt, so sieht man, dass sie ihre Form und Grösse behalten, während sie allmählich blasser werden. Ist schliesslich die Farbe ganz verschwunden, so lassen sich auch die Contouren, wenigstens der feineren Körner, nicht mehr erkennen. Am besten ist deshalb der Vor-

1) Arch. f. mikrosk. Anatomie Bd. 27, S. 181.
2) Centralblatt f. klin. Med. 1889, No. 18.

gang an den grösseren compacten Massen in den geraden Kanälen zu verfolgen.

Also es handelt sich — das geht daraus wohl mit Sicherheit hervor — um eine jedenfalls organische Grundsubstanz, die sich mit dem Farbstoff imbibirt. Freilich gelang es mir nicht, jene Grundsubstanz in den entfärbten Schnitten durch nachträgliche Färbung mit verschiedenen Lösungen wieder deutlich zu machen: entweder nehmen sie den Farbstoff nicht an, oder die Körner unterscheiden sich wenigstens nicht mehr von den übrigen Granulis des Protoplasma, so dass ich über ihre Structur nicht ins Klare kommen konnte. Aber einige andere Ergebnisse bestätigten mir ihr Vorhandensein. So nehmen die rothen Körner, wenn man einen Schnitt in Methylenblaulösung färbt, einen entschieden mehr bläulichen Ton an, während sie bei Hämatoxylinfärbung roth bleiben, ein Zeichen, dass der erstere Farbstoff auch von der Grundsubstanz mit aufgenommen war. Ferner sah ich in verschiedenen Nieren von vorne herein die Körner viel blasser als in anderen.

Kann demnach über das Wesen der Körnchen kein Zweifel mehr sein, so ist damit die Frage nach ihrer Herkunft und ihrem Verbleib keineswegs zugleich entschieden. Dass die Grundsubstanz von den secernirenden Zellen geliefert wird, ist wohl klar, aber es bleibt doch auffallend, dass diese Farbstoffkörner niemals in den Zellleibern, wenigstens nicht in ihrem äusseren Theil, gefunden werden. Wie mag der Farbstoff bis an den inneren Theil der Zellen gelangen, ohne den äusseren Theil zu färben? Warum ist der Bürstenbesatz gefärbt? Und vor Allem, wo bleibt schliesslich die Grundsubstanz der Körner, während der Farbstoff gelöst im Harn erscheint? Ich habe den Bodensatz des Harnes — der übrigens eiweissfrei bleibt — nicht untersucht, aber es ist mir auch fraglich, ob ich die „Schatten“ der Körner bei ihrer minimalen Grösse hätte wiedererkennen können.

Ich hoffte, da ich in der Säugethierniere nicht weiter gelangen konnte, Aufklärung von der Froschniere und habe die Verhältnisse der normalen Carminabscheidung beim Frosch, so gut ich konnte, verfolgt. Betrachtet man das mikroskopische Nierenbild von einem Frosch, der reichlich Natroncarmin im Harne abgesondert hat, so findet man auch hier rothe Körnchen, aber in anderer Lagerung. Der zweite dorsale Abschnitt der Harnkanälchen,

das flimmersaumtragende „secretorische“ Epithel zeigt in den meisten Fällen in verschiedener Ausdehnung folgende Veränderung: der innere Theil der Zellen, etwa von der Gegend der Kernregion bis zur Basis des Bürstensaumes, zeigt eine feine Röthung, während der äussere Theil sowohl wie der Bürstenbesatz farblos geblieben ist. Färbt man die Schnitte nachträglich mit Hämatoxylin und betrachtet bei stärkeren Vergrösserungen, so erkennt man, dass der innere Zelltheil durchsetzt wird von einer grossen Anzahl mehr oder minder grosser, schwach röthlicher Körner, die aber niemals eine so intensive Färbung aufweisen, wie in der Säugethierniere und desshalb von vorne herein als Granula erscheinen. Diese Granula sind aber stets bedeutend grösser als die feine protoplasmatische Körnung der übrigen Zelle (cf. Taf. II, Fig. 3).

Merkwürdig ist nur, dass die Körner niemals, wie in der Säugethierniere, im Lumen der Kanälchen, das doch sonst häufig etwas granulirten Inhalt aufweist, zu finden sind, und dass der Bürstensaum farblos und körnchenfrei bleibt. Nur ganz ausnahmsweise (in 2 von ca. 30 Versuchen) habe ich ihn schwach geröthet und mit wenigen tief rothen Körnern am Lumen, wie in der Säugethierniere, gefunden (cf. Taf. II, Fig. 5a). Möglich, dass hier ein etwas anderes Stadium der Ausscheidung vorlag, oder dass gewöhnlich die Körner so schnell durch den Wasserstrom in die tieferen Kanäle hinabgeschwemmt werden, dass sie hier nicht mehr anzutreffen sind. Denn dass sie ausgestossen werden, wird doch wohl kaum einem Zweifel unterliegen, wenn man sie weiter unten wieder antrifft. Ich glaube vielmehr, dass diese Bilder, die sich auch, allerdings nicht so ausgeprägt, in jenen Nieren finden, die das Carmin trotz unterbundener Nierenarterien abgeschieden hatten, recht eigentlich den Absonderungsvorgang klar legen. Gerade diesen Zellen kommt nach Nussbaum[1]) die eigentlich secretorische Thätigkeit zu, und Nussbaum selbst erkannte in ihnen helle glänzende, verschieden grosse Kugeln. Solger[2]) fand diese Kugeln pigmentirt und bezog sie auf die Pigmentausscheidung. Auch ich habe oft derartig pigmentirte Granula in derselben Anordnung, wie ich es von den Carminkörnern beschrieben habe, in den sonst normalen Nieren gesehen, und zweifele nicht, dass

1) Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 27, S. 463.

2) Abhandl. d. naturforsch. Gesellsch. zu Halle Bd. 15, 1882.

sie zur Secretion in Beziehung stehen. Was die Abscheidung des indigoschwefelsauren Natriums betrifft, so beschreibt Nussbaum einen Versuch, wo diese Zellen auf den feinen Borsten am centralen Saume feine blasse Körnchen des blauen Farbstoffes trugen. Dabei wird es sich also vermuthlich nicht um Partikelchen des Farbstoffes, sondern auch um eine gefärbte Grundsubstanz gehandelt haben. Dass der Bürstenbesatz irgendwelche anatomische Verschiedenheiten zeigte, je nachdem die Zellen in Abscheidung begriffen waren oder nicht, habe ich auch hier ebenso wenig constatiren können, wie in der Säugethierniere.

In den übrigen Abschnitten der Niere zeigen sich nun noch weitere Eigenthümlichkeiten, die für das Verständniss der Ausscheidung, wie ich glaube, von nicht unwesentlicher Bedeutung sind. In den wimpernden Hälsen habe ich nur ganz vereinzelt rothe Körnchen angetroffen. Es werden die dritten Abschnitte gewesen sein, die sich von den ersten im mikroskopischen Bilde nicht unterscheiden lassen. Im vierten Abschnitt findet man die rothen Körner bereits viel lebhafter gefärbt und zu mehreren zusammengeballt am inneren Zellrande liegen. Nicht immer aber sind die Epithelien frei von ihnen. Vielmehr zeigen sie gar nicht selten dieselbe Betheiligung an der Ausscheidung (Taf. II, Fig. 3 b), wie viel häufiger und ausgesprochener die Epithelien der Ausführungsgänge (Taf. II, Fig. 5 b), nämlich folgende: auch wenn die Abscheidung in den gewundenen nur eine geringe ist, sieht man fast regelmässig sich schmale rothe Körnchenreihen in verschiedenen Abständen vom Lumen aus gegen die Membrana propria zu erstrecken. Es sieht aus, als hätten sich die Carminkörnchen zwischen die Epithelien eingeschoben. Bei genauerer Betrachtung aber erkennt man, namentlich wenn die Abscheidung reichlicher war, dass das ganze Epithel von Carminkörnern durchsetzt ist, so dass man nicht mehr entscheiden kann, ob sie nur zwischen oder in den Zellen selbst lagern. Sehr häufig begrenzen sie die Wandung von Spalten, die sich nach dem Lumen zu öffnen, oder sie liegen perlschnurartig an der Wandung von grösseren und kleineren Hohlräumen, die sich im Epithel befinden (cf. Taf. II, Fig. 3 und 5). Aber man findet sie auch in Haufen zusammengeballt lagernd, und zuweilen haben sich gar einzelne Epithelien ganz mit dem Farbstoff imbibirt und Kernfärbung angenommen, zum Zeichen, dass sie abgestorben sind. Diese Epithelien liegen dann

auch hin und wieder im Lumen zwischen den anderen Farbstoffmassen und bieten wenigstens einen Fingerzeig für die Erklärung, die im übrigen bei der grossen Unregelmässigkeit der Erscheinung gewiss nicht leicht ist.

Noch eine andere Veränderung findet man an den Froschnieren nach der Carmineinspritzung, die mich Anfangs nicht wenig überraschte. Es sind Zellen, die in ihrem Protoplasma — der Kern bleibt auch hier wie in allen Zellen stets farbstofffrei — grössere und kleinere tief rothe Farbstoffschollen beherbergen. Diese Zellen liegen im Blutgefässsystem und man trifft sie also auch in allen übrigen Organen und im frisch untersuchten Blute selbst an. In grösseren Massen finden sie sich in der Milz, und es lässt sich wohl nicht bezweifeln, dass es ursprünglich weisse Blutzellen sind, obwohl sie sich durch ihre manchmal ganz gewaltige Grösse zunächst sehr auffallend von ihnen unterscheiden (cf. Taf. II, Fig. 3c). Sie halten den Farbstoff ebenso fest, wie die übrigen Carminkörner und geben ihn nur nach Behandlung mit schwacher Ammoniaklösung ab. Auch hier handelt es sich um eine Grundsubstanz, die den Farbstoff aufgenommen hat, und es fragt sich nur, ob die Zellen jene Farbstoffschollen „gefressen“ haben, oder ob sie aus ihrem eigenen Protoplasma die Grundsubstanz für das Carmin geliefert haben. Ich bin geneigt das letztere zu glauben, weil ich im Blute hier ebenso wenig wie beim Säugethiere Farbstoffniederschläge erkennen konnte. Ueber das schliessliche Verbleiben dieser Zellen kann ich nichts angeben. Ihr Auftreten ist nicht immer gleich zahlreich, doch fehlten sie meist nur dann gänzlich, wenn entweder sehr wenig Farbstoff injicirt oder nur kurze Zeit bis zum Tode verstrichen war. Dem entspricht, dass sie andererseits dann meist sehr zahlreich anzutreffen waren, wenn, wie z. B. in den Versuchen mit Unterbindung der Nierenarterien, überhaupt kein Farbstoff secernirt war. Möglich also, dass sie gewissermaassen die letzten Hülfstruppen des Organismus darstellen, um ihn von dem im Blute kreisenden Farbstoff zu befreien, wenn die Arbeitskraft der regulären Truppen, der Nierenzellen, nicht ausreicht oder erlahmt ist. Von prinzipieller Wichtigkeit scheint mir dabei der Umstand, dass die Zellen, wie ich annehmen muss, den Farbstoff zunächst gelöst aufnehmen und aus sich selbst eine Grundsubstanz bilden, die sich mit ihm imprägnirt. Dadurch bleibt zugleich das Protoplasma der Zellen selbst ungefärbt. So

viel ich weiss, hat man bisher nur gesehen, dass die weissen Blutzellen compacte, feste Massen „fressen“.

Wenden wir uns nun zur Erklärung der beschriebenen Abscheidungsbilder, um eine Vorstellung des ganzen Ausscheidungsvorganges zu gewinnen, so scheint das eine wohl ziemlich zweifellos, dass in den secretorischen Zellen einzelne Granula sich mit dem Farbstoff imbibiren, dass diese durch den Saum hindurchtreten und in die tieferen Abschnitte der Harnkanälchen hinabgeschwemmt werden; nur dass in der Säugethierniere die Körnchen viel feiner und tiefer gefärbt sind, und desshalb der Vorgang nicht so klar liegt. Der im Serum gelöste Farbstoff muss die äusseren Theile der Zellen durchsetzen, ohne das Protoplasma zu färben, also jedenfalls im Paraplasma gelöst sein. Bleiben wir zunächst bei diesem Vorgang stehen, so steht er doch, so befremdlich er auch auf den ersten Blick scheinen mag, keineswegs ganz ohne Analogie da. Schon Heidenhain[1]) konnte bei seinen ersten Versuchen mit Indigocarmin, wenn er den Farbstoff auflöste, im Lumen zwei verschiedene Arten von Krystallen zurückbleiben sehen. Bial[2]) hat neuerdings die älteren v. Wittich'schen Untersuchungen über die Harnsäureabscheidung bei den Vögeln wiederholt. Er konnte dessen Angaben über das Vorkommen von harnsauren Salzen in den Zellen zwar nicht bestätigen, doch fand er bei Wirbellosen, bei der Helix pomatia, in den Zellen Guaninconcremente, nach deren Auflösung eine organische Grundsubstanz zurückblieb, die sich durch den abweichenden Ausfall verschiedener Farbstoffreactionen von dem Protoplasma unterschied. Vor allen aber möchte ich zum Verständniss meiner Beobachtungen die Untersuchungen Altmann's[3]) über die Granula des Protoplasmas und ihre Beziehungen zur Secretion heranziehen. Ohne mich auf eine genauere Besprechung seiner Befunde an der Urniere des Hühnchens und den Nieren der Warmblüter einzulassen, — er fand, dass grössere kugelige Gebilde durch den Bürstenbesatz hindurch ausgestossen werden, die jene specifischen mit Fuchsin färbbaren Granula enthielten, denen er die wesentlichste Betheiligung

1) Pflüger's Arch. Bd. 9, S. 22.

2) Pflüger's Arch. Bd. 47, S. 116 ff.

3) R. Altmann, Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen. Leipzig 1890, S. 97 ff.

an den Lebensvorgängen der Zelle überhaupt vindicirt — glaube ich doch, dass, wenn wenigstens für die Fett- und Speicheldrüsen die Absonderung durch Umwandlung und Ausstossung der Granula sehr wahrscheinlich gemacht ist, auch für die Niere ein analoger Vorgang nicht ausgeschlossen erscheint. Für die vorliegenden Beobachtungen über die Carminabsonderung bleibt in der That, wie wir gesehen haben, keine andere Deutung möglich. Ob auch für die Abscheidung anderer Substanzen und namentlich für die normale Secretion eine solche Auffassung Giltigkeit beanspruchen darf, darüber lässt sich vorläufig nichts sagen. Vielmehr scheint es mir in Anbetracht der Heidenhain'schen Beschreibung der Indigocarminsecretion rathsamer, zunächst bei der Constatirung des Beobachteten stehen zu bleiben.

Noch möchte ich aber einer eigenthümlichen Veränderung der Nierenepithelien in der Säugethierniere Erwähnung thun, auf die ich bei meinen Secretionsversuchen am Kaninchen aufmerksam wurde, da sie manchmal zu auffällig war, um übersehen werden zu können, und die ich nicht anders, als durch Secretion bedingt, deuten konnte. Es fanden sich nämlich in der Hälfte aller Nieren, die Carmin ausgeschieden hatten, in der Rindensubstanz unter den gewundenen Kanälchen neben solchen, die, ohne ausgeschieden zu haben, ganz den normalen glichen, und solchen, die in gewöhnlicher Weise das Carmin abgeschieden hatten, eine dritte Art, die bei schwacher Vergrösserung dadurch sofort in die Augen sprangen, dass sie dunkler erschienen, in einem fast rothbraunen Farbenton. Zugleich zeigten sie das Gemeinsame, dass die Kerne schärfer hervortraten, als in den übrigen Kanälen, und dass sich ferner niemals Carmin in ihnen vorfand (cf. Taf. II, Fig. 1 b). Anfangs vermuthete ich, dass der rothbraune Farbenton auf einer diffusen Färbung mit Carmin beruhe, doch ist das thatsächlich nicht der Fall. Vielmehr beruht die Erscheinung auf einem stärkeren Lichtbrechungsvermögen dieser Zellen, bedingt durch eine andersartige Differenzirung des Protoplasma, von der man sich durch Betrachtung mit starken Systemen leicht überzeugen kann. Es erscheinen dann diese Zellen dadurch wesentlich verschieden von den übrigen, dass vornehmlich in der mittleren Zone der Zelle, etwa in der Kernregion, das Protoplasma gröber gekörnt ist. Die feine Granulation der übrigen Zellen ist nur noch in der basalen Zone, an der Tunica propria, in verschiedener Dicke vorhanden und er-

streckt sich von dort hin und wieder etwas in den Zellleib hinein. An der anderen freien Fläche der Zelle ist der Bürstenbesatz völlig erhalten. Aber das Lumen ist geschlossen und die Höhe der einzelnen Zellen nicht so gleichmässig, wie sonst: man findet gewöhnlich den Besatz eines quergetroffenen Kanälchens in einer Sternfigur angeordnet. Die mittlere Zone macht den Eindruck, als wären die einzelnen Körnchen des Protoplasma durch einen grösseren Zwischenraum von einander getrennt, so dass namentlich die Kerne oft völlig frei zu liegen scheinen. An anderen Stellen sind Lücken im Protoplasma, die aber nicht etwa Vacuolen gleichen. Der Unterschied gegen die gewöhnliche Structur ist gar nicht zu verkennen (cf. Taf. II, Fig. 2 b). Ich habe lange nach einer Erklärung dieser sonderbaren Erscheinung, die sich verschieden stark ausgesprochen, aber in gleicher Weise in jeder zweiten Niere fand, gesucht, ohne dass ich der Deutung in irgend einer Weise näher gekommen wäre. Nur das eine scheint mir unzweifelhaft, dass nämlich eine Beziehung zur Absonderung vorhanden ist. Von einem Kunstproduct kann jedenfalls nicht die Rede sein, denn in normalen Nieren findet man dergleichen nicht, und dann liegen diese Kanälchen, einerlei ob auf dem Quer- oder Längsschnitt, scheinbar ganz unregelmässig zwischen den übrigen zerstreut. Auch liegt kein Grund vor, die Erscheinung etwa als eine pathologische zu deuten. Dem gegenüber ist auffallend, dass einmal keines dieser Kanälchen jemals Farbstoff enthält und weiter der Umstand, dass ich auch in Nieren, die Indigocarmin abgeschieden hatten, die gleiche Veränderung fand. Irgend einer weiteren Deutung dieser Erscheinung möchte ich mich vorläufig um so mehr enthalten, als sie, wenn auch wahrscheinlich zur Secretion überhaupt, so doch zu dem beschriebenen Vorgang der Carminsecretion keine directe Beziehung aufweist.

Was nun die Befunde an den übrigen Kanälen in der Niere betrifft, so handelt es sich bei den compacten Massen in den geraden der Säugethierniere und dem 4. Abschnitt der Froschniere offenbar um zusammengeballte aus den gewundenen Abschnitten herabgelangte Carminkörner. Kann man ja auch in den Henle-schen Schleifen (Taf. II, Fig. 4 b) und den Flimmerhälsen hin und wieder Farbstofftheilchen antreffen. Diese „Eindickung" in den tieferen Abschnitten der Harnkanälchen wird bekanntlich bei allen erkennbaren Secreten (Indigocarmin, Harnsäure) gefunden, ohne

dass es bisher gelungen wäre, eine befriedigende Erklärung dafür zu finden. Die scheinbar plausibelste Annahme, dass der Harn hier wieder eingedickt wird, ist jedenfalls trotz der positiven Resultate Ribbert's[1]) noch nicht mit voller Sicherheit erwiesen. Für das indigoschwefelsaure Natrium ist von Heidenhain auf die stärkere Fällung des Farbstoffes durch die zunehmende Concentration des Harnes hingewiesen worden, und für die Harnsäure käme allenfalls das Anziehungsvermögen der ausgefallenen für die noch gelöste in Betracht. Für das Carmin, wo von einer Fällung überhaupt keine Rede sein kann, könnte es sich höchstens noch um ein mechanisches Zusammenballen handeln. Offenbar giebt aber hier die Säugethierniere, wo die Epithelien der Geraden nicht in directe Beziehung zum Farbstoff treten, keine weitere Auskunft, während die beschriebenen Beobachtungen aus der Froschniere lebhaft eine Erklärung fordern. Was bedeuten jene Carminkörner im Epithel und was ihre mannigfache Anordnung?

Dass die Körner aus dem am Epithel liegenden Vorrath von innen aufgenommen sind, ist a priori wahrscheinlich; sie müssten denn eine selbständige Abscheidung bedeuten, für die Nichts spricht. Dass sie nach aussen befördert werden oder im Epithel aufgespeichert liegen bleiben, ist ebenso a priori durchaus nicht anzunehmen. Vermuthlich — bewiesen ist das allerdings nicht — werden sie schliesslich auch wieder nach dem Lumen zu abgeschieden, wie die zahlreichen nach dem Lumen sich öffnenden Spalten andeuten, und machen nur einen vorübergehenden Aufenthalt im Epithel durch. Es lässt sich nicht läugnen, dass dadurch der Gedanke einer gleichzeitigen Wasserresorption wieder nahe gelegt wird. Auch scheint mir dafür noch eine Beobachtung zu sprechen, die ich an einem Frosch machte, der nach der Carmininjection mit vernähter Kloake aufs Trockene gesetzt wurde und nach 7 Stunden getödtet wurde. Er hatte keinen Tropfen Harn abgeschieden, und in der Niere fanden sich die Ausführungsgänge colossal durch die angesammelten compacten Carminmassen ausgedehnt. Jedenfalls war also der Farbstoff aus dem 2. Abschnitt bis hierher gelangt. Dennoch gestehe ich gerne, dass ein directer Beweis hierdurch ebensowenig gegeben wird, wie durch die beschriebenen Bilder.

---

1) Virchow's Archiv Bd. 88, S. 11.

Ueber das Schicksal jener compacten Massen kann ich mich kurz fassen. Da der Harn den Farbstoff stets gelöst enthält, so ist es nur denkbar, dass das Harnwasser schliesslich die Körner auslaugt. Wo die Körner bleiben, ist freilich nicht sicher entschieden, doch zweifele ich nicht, dass sie in den Harn mitgespült werden, auch wenn es nicht gelingt, sie dort wegen ihrer unscheinbaren Grösse wieder aufzufinden.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel II.

Fig. 1. Schnitt durch die Rindensubstanz einer Kaninchenniere. Inj. von ammoniakalischer Carminlösung. Getödtet nach 20 Min. Fixation durch Kochen in Wasser. Alkoholhärtung. Leitz. Obj. 3. (num. Apert. 0,26).
a. Carminabsonderung in gew. Kanälchen.
b. Kanälchen mit stark lichtbrechendem Epithel.
c. Gew. Kanälchen.
d. Glomerulus. In einzelnen Schlingen Carminkörner.

Fig. 2. Aus derselben Niere. Leitz. Oel-Immers. $^1/_{12}$ (num. Apert. 1,25).
a. Gew. Kanälchen. Carminabscheidung.
b. Kanälchen mit stark lichtbrechendem Epithel.
c. Gerades Kanälchen.

Fig. 3. Querschnitt durch die Papille einer Kaninchenniere. Inj. von ammoniakalischer Carminlösung. Getödtet nach 15 Min. Fixation durch Kochen in Wasser. Alkoholhärtung. Leitz. Obj. 7 (num. Apert. 0,85).
a. Ausführungsgänge.
b. Absteigender Schenkel der Henle'schen Schleife.
c. Aufsteigender Schenkel der Henle'schen Schleife. Das Bindegewebe ist schwach röthlich gefärbt.

Fig. 4. Schnitt durch eine Froschniere. Inj. von Natroncarminlösung (3 ccm). Getödtet nach 7 Stunden. Alkoholhärtung. Leitz. Oel-Immers. $^1/_{12}$ (num. Apert. 1,25). Hämatoxylinfärbung.
a. 2. Abschnitt der Harnkanälchen.
b. 4. Abschnitt.
c. Carminschollenhaltige Zellen.
d. Rothe Blutkörperchen. Das Bindegewebe schwach röthlich.

Fig. 5. Schnitt durch eine Froschniere. Inj. von Natroncarminlösung ($1^1/_2$ ccm). Getödtet nach 4 Stunden. Alkoholhärtung. Hämatoxylinfärbung. Leitz. Oel-Immers. ($^1/_{12}$ (num. Apert. 1,25).

a. 2. Abschnitt der Harnkanälchen.

b. Ausführungsgang.

c. Hohlräume im Epithel. An der Wandung Carminkörner.

d. Rothe Blutkörperchen.

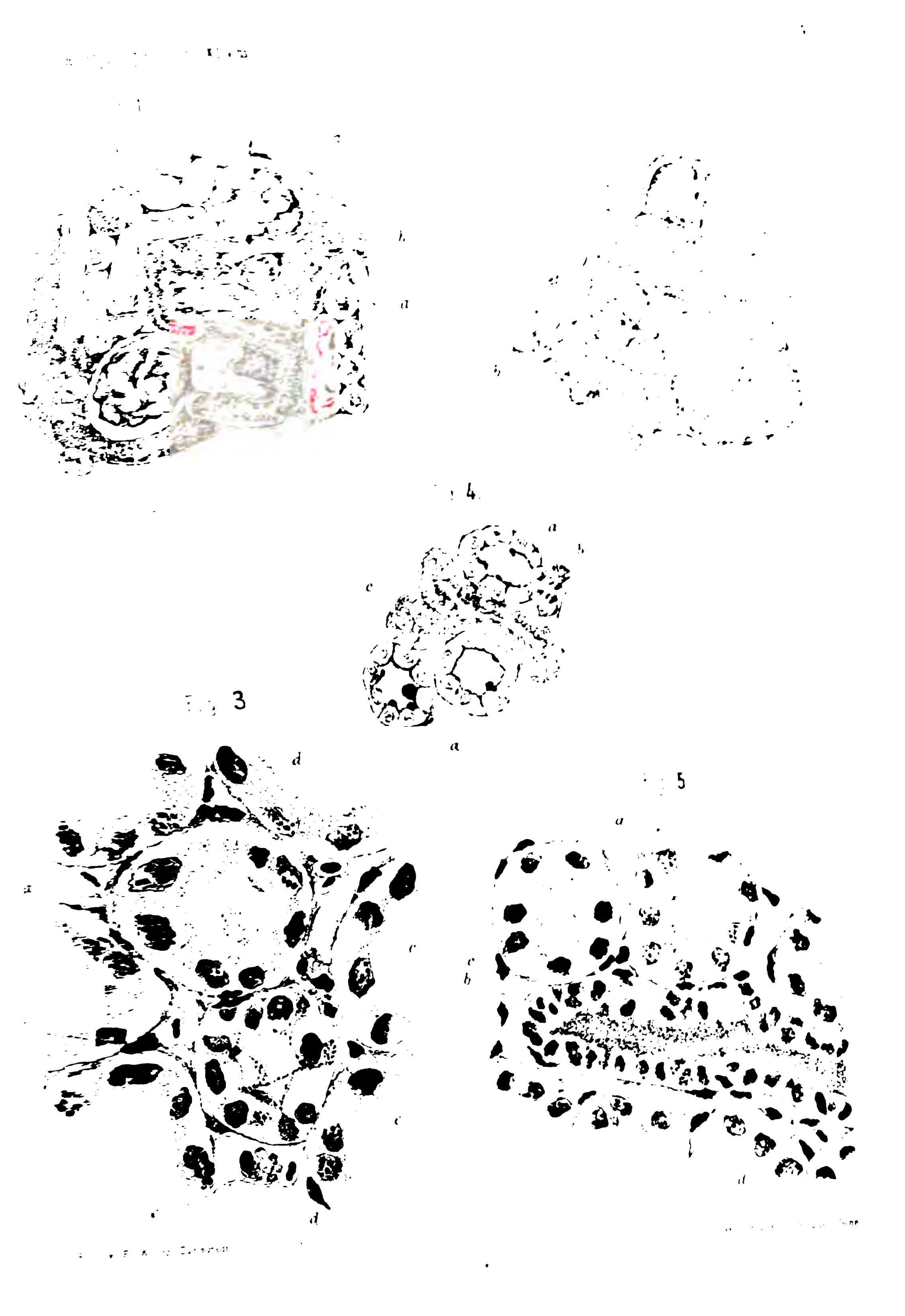

b
a
b
4.
a
b
c
a
3
d
a
c
c
d
5
a
c
b
d

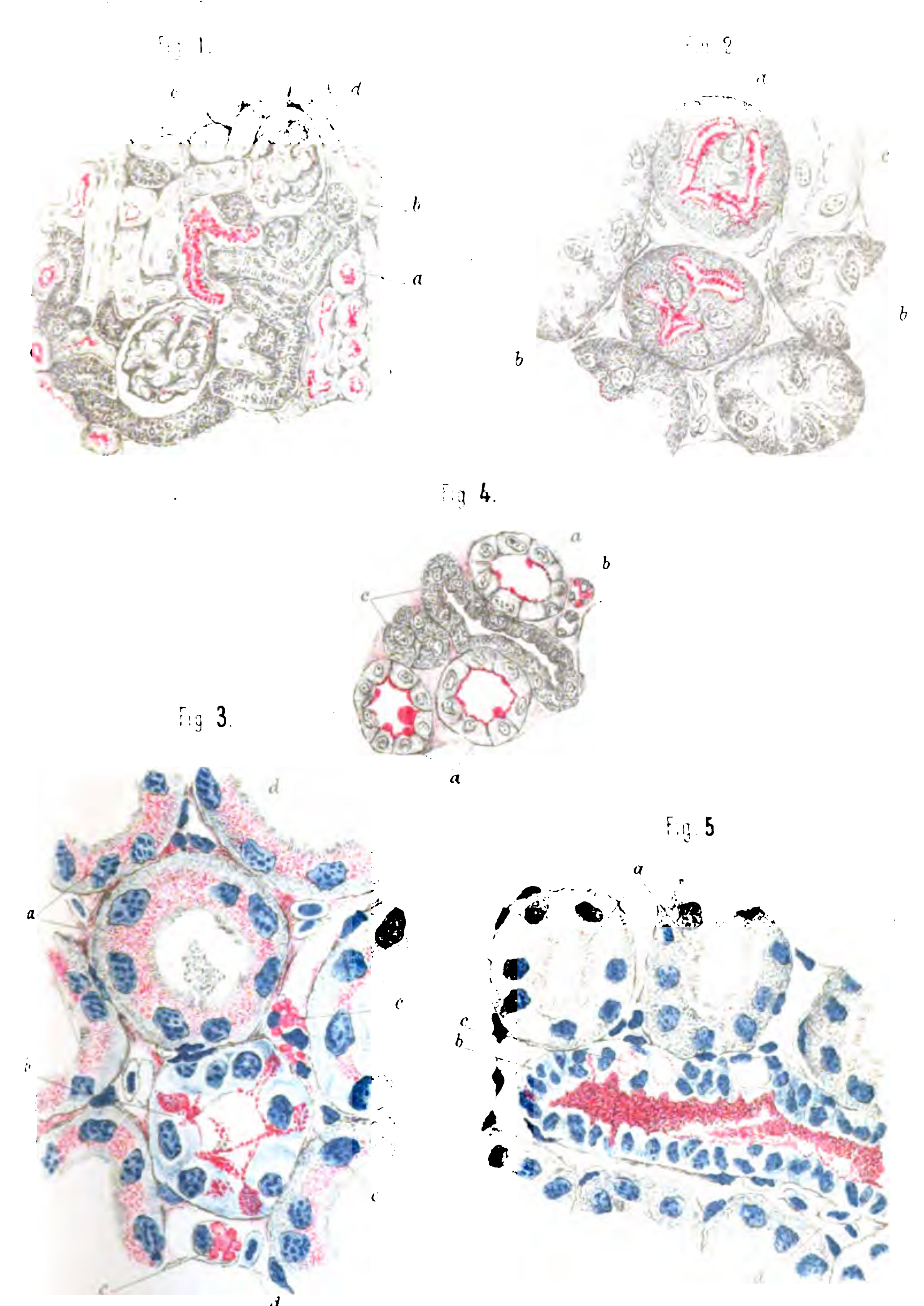
Fig. 5. Schnitt durch eine Froschniere. Inj. von Natroncarminlösung ($1^1/_2$ ccm). Getödtet nach 4 Stunden. Alkoholhärtung. Hämatoxylinfärbung. Leitz. Oel-Immers. ($^1/_{12}$ (num. Apert. 1,25).

a. 2. Abschnitt der Harnkanälchen.

b. Ausführungsgang.

c. Hohlräume im Epithel. An der Wandung Carminkörner.

d. Rothe Blutkörperchen.



Beiträge zur Physiologie der Magendrüsen.

Von

Sigmund Fränkel.

I.

Im Jahre 1871 entdeckten Heidenhain und Rollett gleichzeitig, dass die Fundusdrüsen der Magenschleimhaut aus zwei ihrem Baue nach durchaus differenten Zellarten bestehen. Während Rollett sich über die physiologische Bedeutung dieser Zellarten nicht aussprach, stellte damals schon Heidenhain, wenn auch mit aller Reserve, die Hypothese auf, dass die Hauptzellen Pepsinbildner, die Belegzellen Säurebildner seien. Durch die Arbeiten von Grützner und Ebstein, sowie durch die Arbeit über den Pylorus von Klemensiewicz gewann diese Anschauung an Wahrscheinlichkeit. Als im Jahre 1876 Swięcicki[1]) nachgewiesen haben wollte, dass beim Frosche im Oesophagus Pepsin, im Magen nur Salzsäure gebildet wird, während in dem letzteren blos delomorphe Zellen vorkommen, schien der Gedanke von diesen verschiedenen Funktionen der beiden Zellarten so sehr gefestigt, dass Heidenhain ihn in Hermann's Handbuch der Physiologie[2]) als eine durch gewichtige Thatsachen gerechtfertigte Theorie lehren konnte.

Ich habe nun, da es von grosser Wichtigkeit für die Physiologie der Magenschleimhaut ist, ob die Angaben von Swięcicki richtig sind, dieselben nachuntersucht. Auf eine Kritik der von ihm angewendeten Methoden will ich nicht eingehen, und begnüge mich, meine eigenen Untersuchungen, Methoden und Erfahrungen hier mitzutheilen.

---

1) Swięcicki, Arch. f. d. ges. Phys. v. Pflüger XIII. 444.

2) Hermann's Handbuch V. 1. 135. 1883.

I. Versuch.

Es wurden 10 Winterfröschen die Funduspartieen des Magens entnommen, die Schleimhaut von der Muscularis abpräparirt, nachdem die erstere zuvor von der ihre freie Oberfläche überziehenden Schleimschichte befreit worden war. Die Schleimhäute, welche auf Lackmus sauer reagirten, wurden nun durch lang andauernde Bearbeitung mit Wiegmessern in eine sehr fein-breiige Masse verwandelt, auf ein Filter gebracht, und mit destillirtem Wasser übergossen. Ebenso würden die von den Mägen isolirten Oesophagi dieser Frösche, welche auf Lackmus alkalisch reagirten, behandelt und auf ein anderes Filter gebracht, nur musste bei diesen die Muscularis mitgenommen werden, da das Abpräpariren derselben nicht ausführbar ist. Jedes der beiden Filter fasste 2 Liter Wasser, welches langsam, ungefähr in 24 Stunden durchfiltrirte und dann wieder erneuert wurde. Die Filtrate der einzelnen Aufgüsse wurden getrennt aufgefangen und untersucht. Die Gefässe wurden in der Kälte gehalten, um das Eintreten von Fäulniss zu verhüten. Von jedem, einem neuen Aufguss entstammenden Filtrate wurden je 18 cm^3 mit je 2 cm^3 einer Salzsäure versetzt, welche 10 gr HCl im Liter enthielt, eine kleine Flocke rohen Fibrins dazugethan und im Thermostaten bei einer Temperatur von 37,25° C. 24 Stunden lang gehalten. Ein Controlversuch, bei welchem eine Flocke derselben Fibrinmasse in 1 pro mille Salzsäure war, belehrte darüber, ob sich das verwendete Fibrin nicht in blosser Salzsäure löste [1]). Jede Probe wurde hierauf abgekocht, filtrirt und die Peptonreaction mit Kupfervitriol und Kali gemacht.

Während die ersten Filtrate sehr rasch verdauten, begann bereits bei dem V. Filtrat sowohl der Magen-, als auch der Oesophagusschleimhaut eine Verlangsamung, das VII. Filtrat verdaute äusserst schwach, das VIII. überhaupt nicht mehr und gab auch die Peptonreaction nicht. Es wurde nun noch ein IX. Mal mit destillirtem Wasser nachgewaschen, das Filtrat geprüft, und da auch dieses in angegebener Weise angesäuert in 24 Stunden im

1) Unter der Bezeichnung „Controlversuch" ist im Folgenden stets diese Probe auf Unlöslichkeit des verwendeten Fibrins in blosser Salzsäure zu verstehen.

Thermostaten nicht mehr verdaute, wurden die Schleimhäute auf beiden Filtern mit einer Salzsäure übergossen, welche 1 gr HCl im Liter enthielt. Sowohl der erste als auch der zweite Salzsäureauszug der Oesophageal- sowie der Magenschleimhäute verdauten Fibrin sehr rasch. Der gewöhnliche Controlversuch fiel negativ aus.

II. Versuch.

Von neun Sommerfröschen wurden Oesophagus und Magen wie bei dem ersten Versuche behandelt. Da die Versuche im Mai gemacht wurden, wird die Filtration im Eiskasten vorgenommen. Das fünfzehnte Wasserfiltrat von jedem der beiden Organe, welche wieder getrennt behandelt wurden, verdaute nicht mehr. Es werden die Schleimhäute nochmals mit Wasser nachgewaschen und da beide Filtrate wieder nicht verdauten, 1 pro mille Salzsäure aufgegossen. Das erste sowie das zweite Salzsäurefiltrat beider Gewebe verdauten Fibrin sehr rasch, welches, wie der Erfolg des üblichen Controlversuches ergab, in der zum Versuch verwendeten Säure und überhaupt bei stricter Wiederholung aller im Versuche selbst obwaltenden Umstände, ohne Mitwirkung des Extractes einer oder der anderen Schleimhaut völlig unlöslich war.

III. Versuch.

An ein gabelförmiges Rohr wurden auf der einen Seite der Oesophagus und Magen, auf der andern der Magen und Oesophagus von Sommerfröschen befestigt und das Rohr mit der Wasserleitung in Verbindung gesetzt. Durch acht und vierzig Stunden lief nun das Wasser auf der einen Seite zuerst in den Oesophagus und dann in den Magen, und auf der andern umgekehrt. Nach dieser Zeit wurden in jedem der beiden Präparate Oesophagus und Magen von einander getrennt, mit 1 pro mille Chlorwasserstoffsäure 2 Stunden bei Zimmertemperatur stehen gelassen, hierauf wurde von den 4 Portionen abfiltrirt. Das Filtrat jedes der vier Stücke verdaute binnen 24 Stunden Fibrinflocken vollständig und Pepton war nachweisbar. Der gewöhnliche Controlversuch fiel negativ aus.

Durch diese Versuche erscheint wohl der eine Theil der Behauptung Swięcicki's, dass der Oesophagus des Frosches Pepsin

liefere, bestätigt, jedoch der andere, dass der Magen an der Pepsinbildung nicht betheiligt ist, widerlegt, da ich in allen drei Versuchen, welche vollständig in ihren Resultaten übereinstimmen, sowohl im Oesophagus, als auch im Magen des Frosches zunächst jedenfalls die in Wasser unlösliche, in Säuren und Salzen aber lösliche Modification des Pepsins, das sogenannte Propepsin oder Pepsinogen mit Sicherheit nachgewiesen habe. Das Vorhandensein der anderen, in Wasser löslichen Modification in der Schleimhaut sowohl des Magens als auch der Speiseröhre des Frosches ist durch obige Versuche wenigstens mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit nachgewiesen.

Obwohl somit bereits durch diese Versuche erwiesen war, dass die Behauptung Swięcicki's unrichtig ist, so versuchte ich doch auch noch am lebenden Thiere die Wirkung der Oesophagealdrüsen auszuschalten.

Zunächst trennte ich bei Fröschen den Oesophagus vom Magen ganz ab, und machte aus dem ersteren, indem ich Mucosa an Mucosa, Muscularis an Muscularis sehr dicht annähte, einen Sack. Dieser wurde reponirt und in die Lücke in der Bauchwandung der Magen eingenäht. Alle diese Operationsversuche misslangen. Ebenso war der Erfolg der Versuche beschaffen, eine Verwachsung zwischen dem Oesophagus und dem Peritonaeum herbeizuführen, indem ich jenen an letzteres annähte. Länger als drei Tage überlebte kein Thier die Operation.

Ich sah mich also gezwungen auf die vollständige Trennung zu verzichten und operirte nun auf folgende Weise.

Der Frosch wurde mit einem Tropfen Chloroform narkotisirt. Hierauf schnitt ich in der Mittellinie unterhalb des Sternum ein und machte eine höchstens 1 cm lange Oeffnung. Es wurden nun schnell auf beiden Seiten Wattetampons eingeführt, um ein Vordrängen und eine Verletzung der Lungen zu vermeiden, und der Magen vorgezogen. Durch eine kleine Oeffnung, welche ich in der Wandung desselben anbrachte, wurde nun ein Körper aus Hartgummi oder Glas von etwa 8 mm Länge und 3 mm Durchmesser, welcher die Form eines an seinen beiden Enden verdickten und abgerundeten Cylinders hatte, mittelst einer Pincette eingeführt, und mit einem in Jodoformäther getränkten und dann getrockneten, dicken Seidenfaden so eingebunden, dass noch ein Theil des Magens sich oberhalb der Ligatur befand. Die zur Ein-

führung des Körpers gemachte Oeffnung in der Magengegend wurde nun zur Anlegung einer Magenfistel benützt, indem ich den Magen in die Bauchdecken sehr dicht einnähte. Die Muscularis wurde mit der Bauchmuskulatur, die Magenschleimhaut mit der Haut vereinigt. Zum Nähen benützte ich entweder Irisnadeln oder gerade Perlennadeln No. 12 und sterilisirte Seide. Die auf solche Weise behandelten Frösche wurden nun auf feuchtem Filtrirpapier gehalten. Die Erfolge dieser Operationsmethode waren sehr gute. Einige Tage nach der Operation, nachdem sich am ganzen Rande der Fistel genügend feste Verlöthungen gebildet hatten, wurde die Schichte dicken Schleims, welche die innere Oberfläche des Magens bedeckte und alkalische Reaction zeigte, mit der Pincette und kleinen Wattebäuschen entfernt, und dann der Magen während einiger Tage mit destillirtem Wasser gründlich ausgespült. Hierauf wurden sorgfältig und fest zugebundene Tüllsäckchen, welche Fibrinflocken enthielten, in den Magen eingeführt. Nach 24 Stunden war das Fibrin in allen Fällen vollständig verdaut, d. h. die Säckchen waren leer. Nur ein Mal haftete an einem Säckchen ein kleines Stückchen zäher Masse, welche jedoch die Millon'sche Reaction nicht gab, und sich als Mucin erwies. Vor und nach den Verdauungsversuchen reagirte die Magenschleimhaut auf Lackmus sauer. Auf diese Weise operirte Frösche habe ich bis vierzehn Tage nach der Operation am Leben erhalten. Bei der Section zeigte es sich, dass der Hartgummi- oder Glaskörper festsass und jede Möglichkeit einer Communication zwischen Oesophagus und Magen ausschloss. Die Controlversuche mit Fibrin und 1 pro mille Salzsäure fielen negativ aus. Alle Operationsversuche wurden an Sommerfröschen vorgenommen.

Durch diese Operationsversuche ist wohl die Behauptung Swięcicki's endgiltig widerlegt, und zugleich erwiesen, dass, wenigstens bei den Batrachiern, die delomorphen Zellen Pepsin und Salzsäure secerniren können, während bei denselben Thieren Drüsen im Oesophagus vorkommen, welche nur Pepsin secerniren.

Moritz Nussbaum [1]) hat dieses letztere nämlich dadurch wahrscheinlich gemacht, dass er auf folgende Weise constatirte, dass der Oesophagus des Frosches ein alkalisches Secret abson-

1) M. Nussbaum, Arch. f. mikrosk. Anatomie XIII. 746. 1877.

dere, welches für sich allein nicht im Stande ist zu verdauen, beim Zusatze verdünnter Säure hingegen dazu befähigt ist. Nach Unterbindung des Oesophagus dicht oberhalb der Cardia führt er einem Frosche in den Rachen einen kleinen Korkcylinder ein, welcher alsdann durch die Contraction des Oesophagus bald bis an die abgeschnürte Stelle hinabgleitet. Nach fünf Stunden wird der Frosch getödtet, der in alkalischen Schleim gehüllte Korkcylinder in 0.5 % Kochsalzlösung digerirt bei Zusatz von zerkleinerter Froschmuskulatur. Nach 24 Stunden ist keine Spur von Verdauung zu bemerken, wenn man aber einige Tropfen Salzsäure zusetzt, findet man nach einigen Stunden Alles verdaut.

Ich habe Oesophagusschleimhaut vom Frosch mit destillirtem Wasser ausgezogen. Das Filtrat war für sich nicht im Stande, während 24 Stunden im Brütofen eine kleine Fibrinflocke zu lösen. Wenn man aber nun zu demselben Filtrat so viel Chlorwasserstoffsäure zusetzte, dass es den Titre von 1 pro mille HCl hatte, wurde die Flocke sehr rasch verdaut.

Edinger[1]) erhob Zweifel gegen die Behauptung Swięcicki's und vertritt dagegen die Anschauung, dass die Magenschleimhaut des Frosches keine Mineralsäure secernire, sondern nur Pepsin bilde. Er glaubt die Thatsache, dass im Oesophagus Pepsin gebildet wird, einfach so erklären zu können, dass die Magendrüsen in zerstreuter Anordnung noch ein Stück hinauf in die Speiseröhre reichen. Man muss nie Oesophagealdrüsen des Frosches gesehen haben, um so etwas zu behaupten. Sie sind ihrem Baue nach vollständig von den Drüsen der Magenschleimhaut verschieden, wie dies ja Nussbaum[2]) bereits ausführlich erörtert hat.

Die Behauptung, dass keine Mineralsäure von der Magenschleimhaut des Frosches secernirt wird, und, wenn der Magen leer ist, auch Lackmus nicht geröthet werde (obwohl er denselben bei Sommerfröschen mit schwachen Strömen reizte), muss ich ebenfalls zurückweisen. Bei den meisten Fröschen, welche ich untersucht habe (oft auch bei Winterfröschen, wenn sie einige Zeit im Zimmer belassen wurden), reagirte die Magenschleimhaut sauer, und dieselbe gab, wenn man sie mit einigen Tropfen

1) Edinger, Arch. f. mikr. Anat. XVII. 194.

2) Nussbaum, Arch. f. mikr. Anat. XIII. 3. p. 746. 1877.

destillirten Wassers abspülte, die Phloroglucin-Vanillin-Reaction, welche nur Mineralsäuren (und als einzige Ausnahme auch noch die Kohlensäure) geben.

II.

Claude Bernard[1]) untersuchte, ob in der Schleimhaut des Magens freie Säure vorhanden ist, auf folgende Weise: Er injicirte Hunden schwefelsaures oder milchsaures Eisen und Ferrocyankalium in die Jugularis und fand, dass die Magenschleimhaut nicht blau wurde, hingegen der Speisebrei. Dieser Versuch soll beweisen, dass innerhalb der Drüsen freie Säure nicht vorhanden ist. Nun muss aber die Reaction nicht eintreten, kann aber eintreten, wie sie ja Rollett[2]) einige Male beim Kaninchen gelungen ist; er war aber nicht in der Lage anzugeben, in welchen Zellen der Niederschlag erfolgte.

Lepine[3]) modificirte nun den Bernard'schen Versuch, indem er eine Mischung von gelbem Blutlaugensalz mit milchsaurem Eisen so lange mit Aetzkali versetzte, bis der Niederschlag von Berlinerblau verschwand. In diese Lösung legte er nun Schnitte der Magenschleimhaut eines in vollster Verdauung getödteten Hundes. Es trat aber keine Reaction ein. R. Maly[4]) hat uns bereits in seinem Referate über diese Arbeit über die Ursachen des Misslingens dieses Versuches aufgeklärt. Es bildet sich nämlich nicht-diffusibles Eisenhydroxyd, welches in die Zellen nicht einzudringen vermag.

Trotz all dieser misslungenen Versuche unternimmt dennoch Sehrwald[5]) die Heidenhain'sche Theorie auf diesem Wege zu beweisen. Er legt Stücke einer frischen Magenschleimhaut in eine Lösung von milchsaurem Eisen für zwölf Stunden und dann für eine Weile in Ferridcyankalium.

Wenn man auch die vollkommen unzulässige Annahme machen wollte, dass nach zwölf Stunden, um welche Zeit Sehrwald ja

1) Claude Bernard, Leçons sur les propriétes physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme II, p. 375. 1859.

2) Rollett, Untersuchungen aus dem Institute f. Phys., Graz 1871, II, p. 192.

3) Lepine, Gaz. med. de Paris, 1873, p. 689.

4) R. Maly, Jahresber. f. Thierchemie, 1873, p. 174.

5) Sehrwald, Münchner med. Wochenschrift, 1889, Nr. 11.

eigentlich die Reaction vornimmt, die Chlorwasserstoffsäure noch am Orte ihrer Bildung ist, so ist es doch ziemlich selbstverständlich, dass die Reaction auch bei neutralen und sonst sorgfältig gereinigten Reagentien eintritt, da ja Säure zu derselben gar nicht nothwendig ist.

Sehrwald findet nun, dass die delomorphen Zellen sich blau färben, während die adelomorphen ungefärbt bleiben oder sich nur schwachblau färben.

Dies klärt sich aber bald auf, wenn man Schnitte eines lange in Alkohol gehärteten Magens mit löslichem Berlinerblau färbt. Es entstehen dann dieselben Bilder, wie sie Sehrwald erhalten, und welche er für einen Beweis hielt, dass nur die delomorphen Zellen Säure bilden.

Heidenhain hat bereits verschiedene mikrochemische Reagentien durchgeprüft, ohne jedoch einen Erfolg zu haben. Es beruht dies, wie ich aus verschiedenen misslungenen Versuchen, die ich selbst anstellte, erfahren habe, darauf, dass die meisten Reagentien weder im Zupfpräparate, noch im lebenden Thiere, wenn man demselben das Reagens in die Jugularis injicirt, von den Enchymzellen der Magenschleimhaut aufgenommen werden. Am deutlichsten habe ich dies bei einem Versuche gesehen, bei welchem ich einem Hunde Congoroth in die Jugularis einspritzte. Die ganz ungefärbten Zellen der Magendrüsen hoben sich scharf von der Zwischensubstanz und der Muscularis ab, welche schön roth gefärbt waren. Im Mageninhalt war auch kein Congoroth zu sehen.

Zum ersten Male ist es Edinger[1]) gelungen festzustellen, dass die Magenschleimhaut sauer reagirt. Ernst Brücke fand wohl bei seinen bekannten Versuchen am Vogelmagen Säure innerhalb der Ausführungsgänge, wenn er aber Drüsen zwischen Lackmuspapier zerdrückte, konnte er eine Röthung desselben nicht bemerken. Ich habe die Edinger'schen Versuche mit Alizarinnatrium am Hund wiederholt und kann sie vollständig bestätigen.

In welchen Zellen aber Alizarin ausfällt, konnte ich mit diesem Reagens ebenfalls nicht entscheiden, obwohl es mir mit einem andern gelungen ist. Gegen Alizarinnatrium ist nur einzu-

---

1) Edinger, Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXIX, 247.

wenden, dass Neutralsalze wegen ihrer überschüssigen Säureenergie die Reaction auch geben.

Dreser[1]) hat einen sehr eleganten Schulversuch angegeben, um mittelst Säurefuchsin zu zeigen, dass der arbeitende Muskel sauer reagirt. Ich benützte nun das Säurefuchsin zum Nachweise der Säure in den Enchymzellen der Magenschleimhaut. Ich injicirte Hunden, deren Magensaft ich vorher mit Phloroglucin-Vanillin und Congopapier geprüft hatte, während der vollen Verdauungsthätigkeit in die Jugularis eine erwärmte 5 % Lösung von Säurefuchsin, welche ich bei den ersten Versuchen mit kaustischer Natronlauge, bei den späteren mit kohlensaurem Natron entfärbt habe. Die Menge der injicirten Farbstofflösung betrug 50—100 cm^3, wobei ich mich nach der Grösse des Versuchsthieres richtete.

Bei Hunden, an denen ich diese Versuche sehr oft gemacht habe, sieht man makroskopisch die Magenschleimhaut sehr schön roth gefärbt; dieselbe setzt sich gegen den Oesophagus, welcher weiss ist, ab. Die ganze regio pylorica ist roth und setzt sich gegen den weissen Darm scharf ab. Die Muscularis des Magens und Darmes ist schwach roth gefärbt, was daraus zu erklären ist, dass dieselbe bei der Arbeit sauer wird. Die Thiere waren mit salzsaurem Morphin und Chloroform narkotisirt und die Brechbewegungen, welche das Morphin bewirkt, mögen wohl beitragen die Acidität der Muscularis zu erhöhen.

Mikroskopisch (ich zupfte den Magen, welchen ich dem soeben getödteten Thiere entnommen, rasch auf, und setzte dem Präparat einen Tropfen destillirten Wassers zu) sah ich sowohl die delomorphen, als auch die adelomorphen Zellen, welche übrigens deutlich von einander zu unterscheiden waren, mit Säurefuchsin gleichmässig intensiv roth gefärbt. Das Cylinderepithel und die Zwischensubstanzen erschienen ungefärbt. Eine Differenz in der Intensität der Färbung beider Zellarten konnte ich nicht beobachten.

Wenn ich Stückchen aus dem Pylorus zupfte, konnte ich ebenfalls die Drüsenenchymzellen schön roth gefärbt sehen, während die Cylinderepithelien ungefärbt waren.

Sehr schön gelingt dieser Versuch am Kaninchen. Ich injicirte einem gut gefütterten Kaninchen zuerst subcutan Aether und dann in die Jugularis 50 cm^3 entfärbtes Säurefuchsin. Be-

1) Dreser, Centralbl. f. Phys. Originalmittheil. 1888.

kanntlich secerniren beim Kaninchen in derselben Zeit nicht alle Drüsen der Magenschleimhaut. Makroskopisch sieht man nun die Mucosa des Magens roth gefleckt. Namentlich die Falten derselben sind schön roth gefärbt. Die übrige Magenschleimhaut hat ihre gewöhnliche Färbung. An den Thieren, welche ich untersuchte, sah ich im Pylorus nur einzelne schwach rothe Flecke. Mikroskopisch sieht man in den Drüsen, welche man gefärbten Partieen entnimmt, beide Zellarten mit Säurefuchsin gefärbt, das Cylinderepithel ungefärbt. Entnimmt man Stückchen einer makroskopisch ungefärbten Partie, so sieht man im Zupfpräparate keine Drüsenzelle gefärbt. Auch in den Partieen, wo die gefärbten und nicht gefärbten Drüsen aneinandergrenzen, sieht man nirgends nur eine Zellart gefärbt. Die Muscularis beim Kaninchen ist ungefärbt, da ja die Bewegungen des Magens bei demselben bekanntlich sehr langsame sind.

Es empfiehlt sich langsam zu injiciren und die Thiere erst nach einer viertel bis halben Stunde zu tödten. Es gelingt immer mit kaustischer Lauge die Zellen unter dem Mikroskope zu entfärben, mit Säure die Färbung wieder hervorzurufen.

Das mit kohlensaurem Natron[1]) entfärbte Säurefuchsin färbt sich mit allen Säuren wieder roth, ebenso mit sauren phosphorsauren Salzen und mit saurem weinsaurem Ammon. Mit Neutralsalzen färbt es sich nicht.

Aus diesen Versuchen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die Magenschleimhaut reagirt sauer. In den Enchymzellen wird Säure gebildet, und wir können dieselbe immer in diesen nachweisen.

Der einen oder andern Zellart die Säurebildung ausschliesslich zuzuschreiben, bin ich auf Grund dieser Versuche nicht in der Lage. Es ist jedoch dadurch keineswegs ausgeschlossen, dass nur eine Zellart freie Säure producirt, wie es Heidenhain behauptet, und dass die Säure in die anderen Zellen eindringt, um das Propepsin löslich zu machen, obwohl ja auch Chloralkalien diese Lösung oder, wenn man will, Abspaltung zu bewirken vermögen. Die Annahme Heidenhain's, dass jede Spur von Säure

---

1) Natronlauge entfärbt prompt, kohlensaures Natron sehr langsam, deshalb muss man mit dem Zusatze desselben vorsichtig sein, um nicht zu viel Alkali in's Blut zu bringen.

aus den Drüsen sofort ausgeschieden wird, zu welcher ihn die Versuche von Claude Bernard und Brücke, sowie seine eigenen mikrochemischen Reactionen, deren Scheitern ich früher erklärt habe, bewogen haben, erscheint nunmehr, nachdem ich die Säure mit meinem Reagens in den Drüsen nachgewiesen habe, weder nothwendig zur Vereinbarkeit seiner Lehre über die Funktion der beiden Zellarten des Magens mit den Ergebnissen seiner Prüfung der Schleimhaut auf ihre chemische Reaction; noch ist sie an und für sich weiter haltbar. Es muss ja doch in jedem gegebenen Momente während der Verdauungsthätigkeit die gerade gebildete Säure in den Zellen mit einem Reagens anzutreffen sein, wenn nur dasselbe in die Drüsenzellen einzudringen vermag.

Wie ich den Befund, dass die Pyloruszellen sauer sind, in welchem ich mit Edinger übereinstimme, mit den Resultaten der Untersuchungen von Ebstein, Klemensiewicz und Heidenhain in Einklang bringen soll, weiss ich vorderhand noch nicht; ich habe die Absicht, demnächst Untersuchungen über diese Frage anzustellen.

Zum Schlusse möchte ich noch eine Doppelfärbung für den Kaninchenmagen angeben, welche regelmässig gelingt, während die Rollett'sche ihm selbst nur vier Mal in 24 Fällen gelungen ist.

Man härtet kleine Stückchen Kaninchenmagen in Flemming'scher (Osmiumsäure) Mischung, wäscht gut mit Wasser aus, härtet in Alkohol nach und färbt hierauf erst mit einer Lösung von 1 % Eosin in Wasser und dann mit sehr verdünntem Böhmer'schem Haematoxylin. Im Haematoxylin eine halbe Stunde. Die delomorphen Zellen färben sich mit Eosin, die adelomorphen mit Haematoxylin.

Für den Hundemagen ist diese Methode nicht anwendbar, weil sich hier die delomorphen Zellen mit Osmiumsäure schwärzen und die adelomorphen kein Haematoxylin aufnehmen.

Herrn Professor Dr. Ernst Fleischl v. Marxow, unter dessen Leitung ich diese Arbeit ausgeführt habe, spreche ich hier meinen aufrichtigen und innigen Dank aus, und mache von seiner Ermächtigung Gebrauch, indem ich alle in dieser Abhandlung mitgetheilten Thatsachen als von ihm controllirt bezeichne.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Neue Versuche zur Physiologie des Darmkanals.

Von Dr. M. Blitstein, prakt. Arzt, und Dr. W. Ehrenthal, Assistent am physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.

Mitgetheilt von **Dr. W. Ehrenthal.**

Seit mehr als $1^1/_2$ Jahren ist im hiesigen physiologischen Laboratorium, angeregt durch meinen verehrten Chef Herrn Geheimrath Hermann und unter andauernder persönlicher Theilnahme oder Aufsicht desselben, eine Anzahl von Thierversuchen angestellt worden, die für die Frage nach den Quellen der Kothbildung ganz neue Thatsachen ans Licht gefördert haben. Ueber die ersten Versuche dieser Art hat Hermann selbst bereits berichtet[1]). Das Wesentliche derselben bestand in Folgendem: Bei grossen Hunden wurde eine Darmschlinge resecirt, ausgespült, ringförmig durch eine Darmnaht in sich vereinigt und in die Bauchhöhle versenkt. Eine zweite Darmnaht stellte dann die Continuität des Darmes wieder her. Auch die Bauchwunde wurde wieder durch Nähte zugeschlossen, und die Thiere dann so lange als möglich am Leben erhalten. Bei der Sektion gelungener Fälle fand sich in dem Darmringe eine kothähnliche feste oder flüssige Masse von graugrüner Farbe, die sich von normalem Koth anscheinend nur durch die Abwesenheit von Nahrungs- und Gallenbestandtheilen unterschied und, da der Ring vollkommen geschlossen und bei Beginn des Versuchs leer gewesen war, nur von der Darmwand selbst gebildet sein konnte. Die Schleimhaut des Darmkanals lieferte — so liessen die Versuche vermuthen — sei es spontan, sei es auf gewisse durch den Versuch bedingte Reize, ein Sekret, das sich durch Wasserresorption zu einer kothähnlichen Masse eindickte. Die Menge derselben war so bedeutend, dass sie nach Hermann's Ansicht „einen wesentlichen, vielleicht den wesentlichsten Beitrag" zur Fäcalbildung lieferte.

---

1) Ein Versuch zur Physiologie des Darmkanals. Pflügers Archiv f. Physiol. Bd. 46, p. 93—101.

Diese interessante Thatsache weiter zu verfolgen ist, nachdem wir von der chemischen Analyse wenig Aufschluss erhalten hatten[1]), die Aufgabe weiterer im hiesigen Laboratorium angestellter Versuche gewesen. Wir sind dabei auf 3 Wegen vorgegangen. Es wurden

1) die Ringversuche fortgesetzt.

2) Hungerversuche an Hunden gemacht, denen eine Gallenfistel angelegt war, sodass im Darm sich nur die Producte der Darmschleimhaut selbst, sowie die wahrscheinlich sehr geringen Rückstände von hineingelangtem Speichel, Magen- und Pancreassaft anhäufen konnten.

3) Im unteren Dünndarm ein Anus praeternaturalis angelegt, das abführende Darmstück verschlossen, und die in ihm gebildeten Stoffe nach einiger Zeit untersucht.

Die Operationen wurden zum grössten Theile von Herrn Kollegen Blitstein und mir gemeinschaftlich ausgeführt. Wo es nöthig war, hat Herr stud. med. Wisselinck uns in freundlichster Weise geholfen. Die weitere Arbeit wurde so getheilt, dass Herr Kollege B. die Beobachtung der Gallenfistelhunde und der Thiere mit Anus praeternaturalis übernahm, während mir die Ringhunde zufielen. Ueber die Gallenfistelhunde ist von Blitstein bereits in seiner Dissertation „Zur Physiologie der Kothbildung" Königsberg 1890, berichtet worden, so dass ich nur der Vollständigkeit halber an dieser Stelle eine kurze Darstellung der Ergebnisse geben werde. Gegen Schluss unserer Experimente hat Herr Kollege B., durch äussere Umstände veranlasst, seine Untersuchungen abbrechen müssen, mir jedoch seine Protokolle zur Verfügung gestellt. Auch die Ergebnisse aller früheren auf diesen Gegenstand gerichteten Untersuchungen, wie sie von Herrn Geheimrath Hermann mitgetheilt sind, sind mir durch persönliche Theilnahme an ihnen vertraut, so dass ich mich im Folgenden auf die ganze Reihe der im hiesigen Laboratorium angestellten Versuche stützen kann.

---

1) Bei derselben fanden sich von organischen Substanzen hauptsächlich Fette, Seifen, Cholesterin, Indol und ein Eiweisskörper, der durch Hitze nicht koagulirt wurde und mit Kupfersulphat und Natron eine violette Farbenreaktion gab.

I. Hungerversuche an Gallenfistelhunden.

Dass hungernde Thiere fortdauernd Fäces liefern, ist eine alte Erfahrung, die schon vielfach gemacht sein mag, bevor Voit und seine Schüler ihr besondere Aufmerksamkeit zuwandten. Neu dagegen war die zuerst im Münchener physiologischen Laboratorium gefundene Thatsache[1]), dass bei reiner Fleischnahrung von Hunden ein pechartiger schwarzer Koth gebildet wird, der von den Quantitäten des zugeführten Fleisches nur insoweit abhängig ist, als der Ernährungszustand des Thiers durch dieselben beeinflusst wird. Zur Erklärung dieser Thatsache nehmen Bischoff und Voit[2]) an, dass „eine Sekretion in den Darm stattfinden, und diese viel zur Kothmenge beitragen müsse" (wobei nach allem Vorausgegangenen und Folgenden unter „Sekretion in den Darm" nicht etwa eine Sekretion des Darms selbst verstanden wird). Auch in den neuesten Arbeiten von Müller[3]) und Rieder[4]) wird wiederholt betont, dass die Reste der Verdauungssäfte nicht nur bei Fleischfütterung, sondern auch bei anderweitiger Kost einen sehr erheblichen Antheil an der Faecalbildung hätten[5]).

Inwieweit jedoch die verschiedenen sich in den Darm ergiessenden Sekrete dabei in Betracht kommen, ist näher bisher nicht untersucht worden. Müller glaubt (l. c. pg. 329), dass das Meconium und der Hungerkoth hauptsächlich Gallenrückstände enthielten, und die Angabe Rieder's (l. c. pg. 381) über das gleichmässige quantitative Verhalten der Trockengalle und des Trockenkoths bei verschieden reichlicher Fleischkost lässt bei ihm die gleiche Ansicht auch für den Fleischkoth durchblicken. Indess kennt Müller, wie aus pg. 341 seiner Arbeit hervorgeht, auch die Thatsache, dass hungernde Gallenfistelthiere Koth bilden, ohne ihr jedoch, wie das bei den ganz anderen Fragen, deren Lösung er anstrebt, leicht erklärlich ist, weitere Aufmerksamkeit zuzuwen-

1) Bischoff und Voit: Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers. 1860; pag. 292.

2) loco cit. pg. 291.

3) Ueber den normalen Koth des Fleischfressers; Zeitschr. f. Biologie Bd. XX.

4) Bestimmung der Menge des im Koth befindlichen, nicht von der Nahrung herrührenden Stickstoffs. Zeitschr. f. Biologie Bd. XX.

5) Hierdurch berichtigt sich, wie ich auf Wunsch des Herrn Prof. Hermann erwähne, dessen Bemerkung (l. c. p. 99), dass man bisher die Excrementlieferung hungernder Thiere wenig beachtet habe.

den. — Nur für die Kalksalze der Fäces wird von Müller schon direkt die Abstammung aus der Darmwand angenommen. —

Zur näheren Feststellung des Antheils, den die Verdauungssäfte exclusive der Galle an der Bildung von Koth aus eigenem Material lieferten, wurden daher folgende Versuche angestellt:

Zwei Hündinnen wurde, nach Excision eines Stückes des Ductus choledochus zwischen 2 Unterbindungsstellen, unter dem proc. xiphoideus eine Gallenblasenfistel angelegt. Die Ränder der Gallenblasenwunde wurden mit der äussern Haut vernäht. Das erste der beiden Thiere, von Herrn Professor Hermann, Anfang Dezember 1889, unter Assistenz von Herrn cand. med. Spurgat operirt, wog 8,360 kg. Die Wunde blieb Anfangs offen; nach 2 Tagen wurde ein Verband angelegt, der das Thier am Auflecken der Galle verhindern sollte. Unter demselben ging aber die Wundheilung — wahrscheinlich wegen eines deletären Einflusses der sich ansammelnden und zersetzenden Galle — schlecht von statten, und als nach 8 Tagen ein Prolaps der Baucheingeweide eintrat wurde nach Reposition desselben und erneuter Naht die Wunde wieder bis zur völligen Schliessung offen gelassen. Am 16. XII. erst konnte dann ohne Schaden ein das Auflecken der Galle verhindernder Verband angelegt werden. Während verschiedene andere Methoden, die Galle aufzufangen — Einlegen einer verschliessbaren Silberkanüle, oder Einlegen einer Kanüle, an der ein zur Auffangung der Galle bestimmter Kautschuckbeutel angebracht war — sich nicht bewährten, hat dieser von Herrn Spurgat erdachte einfache Handtuchverband, der nur etwa alle 2—3 Tage gewechselt zu werden brauchte, uns vortreffliche Dienste geleistet. Seine Anlegung geschah in folgender Weise: Auf die Fistel wurde ein grosser Bausch entfetteter Watte gelegt und mit einem denselben allseitig überragenden Stück Wachstuch oder Guttaperchapapier bedeckt. Alsdann wurde ein Handtuch unter dem Halsbande des Thieres durchgezogen und seine beiden Enden auf der Bauchseite des Thieres nach hinten geschlagen. Dieses Handtuch wurde durch ein zweites in seiner Lage fixirt, welches in Ringtouren um den ganzen Leib des Hundes gelegt war. Das freie Ende des letzteren wurde angenäht, ebenso der freie vordere Rand dieses Tuches an das vom Halsbande her latzartig herunterreichende erste Tuch. Auf diese Weise konnte der Hund weder mit den Pfoten noch mit der Schnauze unter den Verband gelangen und

ihn abreissen. — Wesentlich dieser Verband ist es auch, der Hündinnen geeigneter zu diesen Versuchen macht, als Hunde, bei denen der Verband des Penis wegen nicht weit genug nach hinten geführt werden kann und zudem beständig von Urin durchnässt wird.

5 Tage nach Anlegung des Verbandes erhielten die Fäces die weissliche Thonfarbe, die für gallenfreien Koth charakteristisch ist. Zur Sicherheit wurde noch einige Tage länger gewartet und dann dem bis dahin reichlich ernährten Thiere jede Nahrung bis auf Wasser entzogen. Am 27. XII. Abends erhielt das Thier als letzte Nahrung 100 gr Pferdefleisch, nach deren Aufnahme es 7,930 kg wog; es hungerte 19 Tage, bis zum 15. I. 90, an welchem Tage es bei einem Gewicht von 4,290 kg starb. Anfangs hatte es gierig Wasser getrunken, später war auch die Wasseraufnahme eine sehr geringe geworden. Während dieser Zeit lieferte es 444,2 gr Koth; nur die erste Entleerung vom 28. XII. hatte z. Th. noch die weissliche Farbe des gewöhnlichen gallenfreien Koths; alles später gelieferte war von dunkler Farbe, sehr trocken und namentlich gegen Ende durch zahlreiche beigemischte Haare von filziger Konsistenz. Mikroskopisch zeigten sich in einem allgemeinen Detritus zahlreiche Haare, isolirte spindelförmige Rindenelemente von Haaren, Mikroorganismen und vereinzelte dunkel pigmentirte unregelmässige Schollen von zweifelhafter Bedeutung.

Die Sektion des bis aufs äusserste abgemagerten Thieres ergab im untersten Theile des Dickdarms einen 20 gr wiegenden festen wurstförmigen Faecalpfropf, hellbräunlich bis grau gefärbt, ähnlich der Farbe des Inhalts von Darmringen. Weiter oben im Dickdarm fand sich eine klebrige zähe, der Darmwand fest anliegende, die Falten und Vertiefungen der Schleimhaut ausfüllende pechschwarze Masse, die sich auch in den Dünndarm erstreckte, in seinem oberen Abschnitte aber eine feuchtere, mehr schlammartige Beschaffenheit annahm. Unter dem Mikroskope fanden sich in ihr wieder Haare und Rindenelemente von Haaren, einzelne Darmepithelien, wahrscheinlich von der Schleimhaut abgestreift, sehr vereinzelte Rundzellen, unregelmässige pigmentirte Schollen und ein allgemeiner von Bacterien und Kokken durchsetzter Detritus.

Einen zweiten 8,820 k wiegenden Hund operirten am 12. II. 1890 Herr Kollege Blitstein und ich in gleicher Weise. Hier konnte am 22. II. der abschliessende Verband angelegt und am 3. III. die letzte Nahrung — zur Abgrenzung des letzten Nahrungs-

kothes hauptsächlich aus Knochen bestehend — gereicht werden. Das Thier starb schon nach 7 Hungertagen. Am 5. III. und 6. III. wurde der knochenhaltige letzte Nahrungskoth entleert, und im Anschluss an die letzte Portion desselben wenige Gramm eines grünlich-schwarzen, pechartig zähen, nicht stinkenden Koths. Bei der Sektion fanden wir in dem Kanal ganz ähnliche Massen, wie bei dem ersten Versuche, d. h. im obern Dünndarm einen schwarzen, grünlich schimmernden Schlamm, weiter unten zähere schwarze Massen, die sich im Dickdarm zu kugligen Ballen geformt hatten. Der feste Koth wog 33,8, die flüssigen Mengen etwa 60 gr. Mikroskopisch war der Befund ein gleicher, wie bei dem ersten Thiere, nur fehlten Epithelien ganz[1]).

Dass der Ductus choledochus in beiden Fällen verschlossen war, wurde bei der Sektion festgestellt; dementsprechend waren in dem Darminhalte auch keine Gallenbestandtheile nachzuweisen. Das Material für den gefundenen Darminhalt konnten also nur Speichel, Magen- und Pancreassaft und Darmsekret liefern. Bei der Armuth der ersteren an festen Bestandtheilen und im Hinblick auf die Ausdehnung der secernirenden Darmfläche konnte wohl kaum ein Zweifel daran sein, dass dem Darme der Hauptantheil zuzurechnen war. Die angestellten Versuche brachten also eine Bestätigung unserer Ringversuche, insofern wir wiederum eine von der Darmwand selbst gebildete kothartige Masse gefunden hatten. Verschieden genug waren freilich die beiden Befunde trotz alledem. In den Darmringen eine graue bis graubraune, normalem Koth sehr ähnliche festweiche Masse, hier eine pechschwarze, zähe, normalem Koth ganz unähnliche Substanz. — Waren das wirklich ganz heterogene Produkte oder standen sie in näherer Beziehung zu einander, als es ihr Aussehen vermuthen liess? Vor der Hand war das nicht zu entscheiden, und so suchten wir denn weiteren Aufschluss bei einer neuen Reihe von Ringversuchen.

II. Ringversuche.

Dieselbe umfasst 10 Versuche an meistens kleineren Hunden, während zu der ersten von Hermann bereits publicirten Versuchs-

1) Die Trockenbestimmungen, die Herr College Blitstein in seiner Dissertation giebt, sind leider durch ein erst später entdecktes und nicht mehr korrigirbares Versehen zu hoch ausgefallen.

reihe nur grosse Thiere verwendet waren. Die Technik ist im Grossen und Ganzen die alte geblieben. Um das Operationsterrain rein zu erhalten, haben wir, wenn die Ringnaht zuerst vorgenommen wurde, die beiden freien Darmenden zwischen je zwei runden Holzstäbchen abgeklemmt, sodass der Erguss von Chymusmassen oder Darmsekret über die Operationsfläche verhindert wurde. Man verlängert sich dadurch ein wenig die Operation, da vor der Anlegung der Continuitätsnaht dann hinter den Holzklemmen 2 frische Querschnitte mit neuer Gefässunterbindung angelegt werden müssen. Trotzdem halten wir dieses Verfahren für besser, als, wie wir es auch einige Male gethan, der Ringnaht die Naht in der Continuität vorauszuschicken, da das längere Verweilen des Ringes an der Luft und schwer zu vermeidende Knickungen und Torsionen der zugehörigen Mesenterialgefässe zu entzündlichen Processen Anlass geben könnten. Praktisch habe ich es ferner gefunden, das ganze Thier mit Ausnahme des Operationsterrains, über welches Carbolgaze gebreitet wird, mit desinficirtem Wachstuch zu bedecken, so dass die Hand des Operateurs nie den unsauberen und schwer zu reinigenden Körper des Thieres berühren kann.

Von den 10 operirten Hunden starben spontan 5; davon einer nach $2^1/_2$, 2 nach 4, einer nach 8 und einer nach 9 Tagen. Bei allen fand sich eitrige Peritonitis als Todesursache. Die Ringnaht schloss bei allen gut; bei den drei ersten war die Naht in der Continuität des Darmes geöffnet, beim 4. nur ganz locker verklebt. Ob in allen diesen Fällen das Nachgeben der Naht das Primäre und die Peritonitis das Sekundäre gewesen, liess sich nicht entscheiden. Bei dem 5. Hunde waren beide Darmnähte vorzüglich geheilt, dagegen schien die vorgefundene Peritonitis, die übrigens ganz im Beginn war, von der Bauchwunde ausgegangen zu sein.

Die 5 übrigen Hunde wurden in verschieden langer Zeit nach der Operation getödtet; einer nach 9, 2 nach 14, 1 nach 18 und 1 nach 20 Tagen. Die Operation war in diesen Fällen vollkommen geglückt und die Thiere waren nach Ueberstehen der Folgen der Morphiumnarkose durchaus munter. Ganz plötzlich wurden diese Thiere dann eines Morgens offenbar krank gefunden. Schon aus der früheren Versuchsreihe hatten wir die Erfahrung geschöpft, dass alle diese Thiere schliesslich zu Grunde gehen, wenn die Anfüllung des Ringes mit faulenden Faecalmassen eine gewisse

Höhe erreicht hat. Wir tödteten daher sofort die Hunde, sobald sie die Nahrung zurückwiesen und sich matt und träge zu zeigen begannen. Trotzdem sind wir in 2 Fällen — gerade denen, die am schönsten gelungen schienen — zu spät gekommen. Bei dem nach 20 Tagen getödteten Hunde hatte sich von dem kolossal gespannten und dunkel injicirten Ringe aus eine allgemeine jauchige Peritonitis entwickelt, und im Ringe fand sich neben Fäulnissgasen nur eine dicke hämorrhagisch-eitrige stinkende Flüssigkeit. Der am 18. Tage getödtete Hund zeigte im Ringe ein gangränöses Ulcus an der Stelle, an der der Rand der Glaskanüle bei der Durchspülung des Ringes gedrückt hatte. Dasselbe hatte die Wand nicht perforirt, aber in der Bauchhöhle fand sich trotz vortrefflicher Heilung der Darmnähte sowie der Bauchwunde eine ausgesprochene septische Peritonitis.

Bei zwei weiteren Hunden — einem nach 9 und einem nach 14 Tagen getödteten — fand sich als Anhaltspunkt für das Unwohlsein nur die starke Anspannung des Ringes, die von den ersten Anfängen einer Entzündung desselben begleitet zu sein schien, vor. Der Peritonealüberzug des Ringes erschien leicht geröthet und etwas trübe. Wahrscheinlich verbreitet sich, wenn man die Thiere länger leben lässt, von hier aus die Entzündung über das ganze Peritoneum. Die Zeit, in der diese Enzündung des Ringes eintritt, scheint sehr zu variiren, möglicherweise je nach der Menge und Virulenz der im Darmringe eingeschlossenen Mikroben. Bei dem oben erwähnten Thiere, das schon nach 9 Tagen erkrankte, war überhaupt keine Durchspülung des Ringes gemacht worden; in einem andern, der früheren Versuchsreihe angehörigen Falle wurde der Hund erst 26 Tage nach der Operation bei völligem Wohlsein getödtet.

Hält man die Resultate unserer Versuchsreihe mit denjenigen zusammen, welche von Herrn Professor Hermann bei den ersten 9 Thieren erzielt worden sind, so ergiebt sich, dass trotz strenger Asepsis unsere Operationen ungünstigere Erfolge gehabt haben. Ich glaube nicht, dass das an der Technik der Darmnaht gelegen hat — waren doch die Darmnähte in den meisten Fällen vortrefflich geheilt —, sondern dass kleine Hunde wie wir sie vorzugsweise benutzten, den operativen Eingriff nicht so gut vertragen, als die grossen Thiere, die anfangs ausschliesslich benutzt wurden. Für künftige Versuche würde es sich jeden-

falls empfehlen, nur grosse Thiere, von 30 kg und mehr, zu verwenden.

Auf das letzte von den 5 Versuchsthieren, das nach 14 Tagen bei gutem Befinden getödtet wurde, komme ich erst später zurück.

Bevor ich zu den Protokollen unsrer Versuche komme, möchte ich noch eine von anderer Seite schon vor den Hermann'schen Ringversuchen gemachte Erfahrung mittheilen. Mr. William S. Halsted in New-York hatte die Freundlichkeit, Herrn Professor Hermann einen Separatabdruck seiner Arbeit „Circular Suture of the Intestine, An Experimental Study“ — (aus the American Journal of the Medical Sciences, October 1887) zuzusenden. Mr. Halsted hat bei diesen seinen Versuchen, welche zu Studien über Darmnaht angestellt waren, auch ganz ähnliche Operationen gemacht, wie wir. In einem dieser Fälle hat er in einem isolirten und in sich zusammengenähten Darmstück bei einem grossen Hunde folgenden Befund gehabt:

Operation den 8. Januar 1887.

25 th. Dog has not had a bad symptom since the operation.

February 1. Not so well.

3d. Refuses both meat and drink.

9 th. Dog is evidently starving to death. Reopen abdomen, find many and very strong adhesions. Both circular sutures firm. The isolated loop is distended to about the size of an inflated human transverse colon, with fecalsmelling thick, brownish-gray fluid; and its wall is two or three times as thick as normal.

Also ein Fall, der bis auf die noch nicht so weit vorgeschrittene Eindickung dieser fäkalriechenden, dicken, braungrauen Flüssigkeit unseren Fällen in Verlauf und Ergebniss vollkommen entspricht.

Im Folgenden gebe ich nun eine Anzahl von Protokollen unserer Versuche, nach der Lebensdauer der Versuchsthiere geordnet:

1.

Klein. männl. Hund von 5,6 kg Gewicht. Tiefe Morphiumnarkose. Excision eines 17 cm langen Dünndarmstücks. Durchspülung desselben mit (vorher gekochtem) warmem Wasser von 35° C. Erst Darmnaht, dann Ringnaht. Die Ringschleimhaut

secernirt während der Naht mässige Mengen einer flockigen, etwas trüben Flüssigkeit. Versenkung der Darmnähte, nachdem sie mit Jodoform bepudert sind, und Bauchnaht.

Nach 36 Stunden geniesst das Thier etwas Milch, die es aber bald ausbricht. Zunehmende Schwäche, Zittern, Erbrechen; nach 60 Stunden Exitus.

S e k t i o n: Eitrig-hämorrhagischer Erguss im Abdomen, Darmnaht am Mesenterialansatz offen. Ring vom dunkelroth injicirten Netz bedeckt und vielfach mit seiner Umgebung verlöthet. Beim Anschneiden entleert sich eine braunrothe dicke Flüssigkeit, während auf der Schleimhaut ein etwas durchsichtigerer, gallertartiger Belag haften bleibt. Mikroskopisch im Ringinhalt: zahlreiche Eiterkörperchen, Kokken und Bakterien, einzelne rothe Blutkörperchen, ein paar drusige Krystalle von kohlensaurem Kalk und Epithelien des Darms. Die letzteren finden sich meistens in grösseren zusammenhängenden Fetzen; ein Theil von ihnen ist blasig gequollen, sodass sie Aehnlichkeit mit Becherzellen bekommen.

2.

Männl. Hund von 8,12 kg. Ring von 25 cm Länge. Kurze Durchspülung mit warmem Wasser. Ringnaht, dann Darmnaht. Exitus nach 4 Tagen. Am Tage vorher war der Hund munter gewesen und hatte gierig gefressen. — Peritonitis in Folge Durchbruchs an der Continuitätsnaht. In der Peritonealhöhle etwa $^1/_2$ Liter trüber hämorrhagischer Flüssigkeit. Ring von leichten Verwachsungen umgeben und mässig gefüllt. Ringnaht gut verklebt. Inhalt des Ringes ist eine zähflüssige, graugrünliche Masse, die nach der Wand zu glasiger wird; sie bedeckt überall gleichmässig die Schleimhaut und liegt ihr fest an.

M i k r o s k o p i s c h: Präparate, die mehr der Wandschicht entnommen sind — eine Verletzung der Schleimhaut ist dabei ausgeschlossen — bestehen fast ganz aus grossen zusammenhängenden Fetzen wohlerhaltenen Darmepithels neben selteneren einzelnen Epithelzellen. Die Fetzen enthalten verschieden grosse Mengen von Epithelien — oft zu 100 und mehr — in natürlichem Zusammenhange. Unter dem Mikroskop erhält man gewöhnlich demgemäss ausgedehnte Flächenansichten des Epithels; an kleineren Gruppen aber sieht man auch die schönsten Seitenansichten mit deutlichem Kern, Basalsaum etc.

In dem flüssigen Inhalte des Ringes haben die Epithelien ebenfalls das Uebergewicht. Nur selten sind sie jedoch vollständig erhalten; die meisten sind schon macerirt und zerfallen. In unverdünnten Präparaten sieht man dann Kern an Kern gedrängt in einer körnigen von Kokken und Bakterien wimmelnden Grundsubstanz. Verdünnt man jedoch und färbt getrocknete Präparate mit Methylviolett, so sieht man, dass diesen Kernen meistens noch mehr oder minder grosse Reste ihres Zellleibes anhaften. Oft liegen sie in abgegrenzten Haufen zusammen, die früher wahrscheinlich eine zusammenhängende Epithellage gebildet haben.

Daneben in der axialen Masse: Detritus, Kokken und Bakterien; Eiterzellen wurden nur ganz vereinzelt gefunden.

Die Inhaltsmenge, die bei diesem und mehreren nachfolgenden Versuchen nur durch Schätzung bestimmt werden konnte, da ein reines Ablösen von der Schleimhaut nicht möglich war, betrug etwa 10 ccm. Die Gesammtlänge des Dünndarms war 195 cm, die Naht lag 70 cm hinter dem Pylorus.

3.

Männl. Hund von 7,1 kg Gewicht. Excision eines 16 cm langen Darmstücks. Erst Darmnaht, dann Ringnaht. Vorher Durchspülung mit warmem Wasser. Starke Sekretion des Ringes nach der Durchspülung.

Der Hund frisst nach 48 Stunden und ist leidlich munter; am Morgen des 4. Tages Erbrechen und Nahrungsverweigerung, ebenso am 5. Tage. In den 3 folgenden Tagen wieder Besserung, bis am 9. Tage von Neuem Mattigkeit und Nahrungsverweigerung. An demselben Tage noch Exitus, also nach $8^1/_2$ Tagen.

Sektion: Serös-eitrige Peritonitis. Bauchwunde und Ringnaht gut verheilt, Darmnaht nur lose verklebt. Der Ring, von stark geröthetem Netz eingehüllt, ist schlaff gefüllt und enthält ca. 12 ccm einer trüben graubräunlichen schleimigen Flüssigkeit. Mikroskopisch: Detritus, Kokken und Bakterien, $CaCO_3$krystalle, sehr zahlreiche Eiterzellen und Epithelien, die in der Axe spärlich und stark mazerirt, dagegen näher der Wand wieder in breiten Lagen wohlerhalten sich vorfinden.

Dünndarm 206 cm lang; Naht 125 cm vom Pylorus entfernt.

4.

Schäferhund von 7,65 kg. Eine Ausspülung des 18 cm langen Darmrings wird unterlassen; nur die Naht wird mit Jodoform bestreut.

Nach 9 Tagen Tödtung des vorher durchaus munteren Thieres, weil es am Morgen die Nahrung zurückgewiesen hatte.

Bei der Sektion keine Peritonitis, glatte Heilung aller Nähte. Ring sehr stark angespannt, sein Peritonalüberzug leicht injicirt. Beim Anschneiden entleert sich eine erhebliche Menge einer graugelblichen flockigen Flüssigkeit, während über der Schleimhaut des Ringes eine ca. $1^1/_2$ mm dicke, gleichmässige, grauweisse Decke von — wie das Mikroskop lehrt — Epithelien zurückbleibt. In der Flüssigkeit neben zahlreichen Kokken und Bakterien eine sehr grosse Menge von Eiterzellen, daneben aber auch zerfallene Epithelien und freie Kerne.

Gesammtinhalt des Ringes ca. 25 ccm. — Dünndarm 163 cm lang; Naht 45 cm vor dem Coecum.

5.

Grosser männlicher Jagdhund von 22,15 kg. Das 60 cm lange excidirte Dünndarmstück wird zuerst mit warmem Wasser durchspült und dann mit $2^1/_2\,^0/_0$iger Karbolsäure.

Normales Befinden vom 2. bis zum 14. Tage. An diesem rührt das Thier plötzlich keine Nahrung mehr an und wird daher sofort getödtet.

Sämmtliche Nähte gut geheilt. Keine Peritonitis, Ring prall gefüllt, von leichten Verwachsungen umgeben. Der Peritonealüberzug des Ringes an einigen Stellen trübe und geröthet. Der Ring hat auf dem Colon aufgelegen und ist mit ihm theilweise verwachsen. An der Stelle, wo er direkt aufgelegen, findet sich eine dünne hämorrhagische schwartige Membran auf dem etwas getrübten Peritonealüberzug des Colon. Beim Aufschneiden des herausgenommenen Ringes entleeren sich 330 ccm einer graugrünlichen dicklichen Flüssigkeit. Sie hat genau dieselbe Farbe und denselben Geruch, wie die Fäcalmassen der früheren gelungenen Versuche. Ohne Zweifel war es ganz dieselbe Masse, nur dünnflüssiger, noch nicht durch Resorption eingedickt. Beim völligen Aufschneiden des Ringes fanden sich dann noch verschiedene grosse festere Klumpen, aus derselben graugrünen Masse bestehend.

Mikroskopisch: In einem allgemeinen Detritus zahlreiche Kokken und Bakterien, einzelne $CaCO_3$krystalle, mässige Mengen von Eiterzellen und zahlreiche Epithelien, einzeln und in ganzen Lamellen.

Der Dünndarm hatte incl. Ring eine Länge von 310 cm. Die Nahtstelle fand sich im unteren Ileum, 30 cm vor dem Coecum.

Aus den mitgetheilten Versuchen, von deren Complicationen wir vorläufig absehen wollen, geht, wie aus den früheren Ringversuchen, hervor, dass der isolirte Darmring sich allmählich mit einer flüssigen bis breiartigen Masse füllt, die schliesslich (conf. Versuch 5) sich nur durch Wasserresorption einzudicken brauchte, um ganz dieselben festen Kothmassen zu ergeben, wie sie von Hermann (l. c. pag. 95) in seinen Versuchen gefunden worden sind. Hier konnten wir nun die verschiedenen Entwicklungsstufen dieser Masse besser verfolgen. Die Ringe enthielten eine mit der Anzahl der Versuchstage wachsende Menge einer trüben schleimigen graubraunen bis graugelben Flüssigkeit, die späterhin immer flockiger und opaker wurde, graugrünliche Farbe annahm und zuletzt schon einzelne Klumpen einer festweichen kothartigen Masse absetzte. Neben dieser Flüssigkeit enthielt aber der Ring stets eine sehr merkwürdige gallertige Randschicht von weisslichgrauer Farbe. Dieselbe erreichte schliesslich eine sehr beträchtliche Dicke und zeigte sich ganz aus Epithelien zusammengesetzt. Diese Epithelien gingen aber auch in die Ringflüssigkeit über, zerfielen dort und bildeten wahrscheinlich die Hauptursache ihrer zunehmenden Trübung und Dicklichkeit. Nur in Versuch 5, wo wir einen allgemeinen Detritus fanden, der allerdings noch Epithelien enthielt, fehlte diese gallertige Randschicht; wir wollen es dahin gestellt sein lassen, ob hier nur der Zerfall der Zellen ein besonders schleuniger gewesen, oder ob, wenn die Anspannung des Ringes durch flüssigen Inhalt eine gewisse Höhe erreicht hat, die Epithelabstossung aufhört oder wenigstens nachlässt. — Im Einklange hiermit steht, dass in den Hermann'schen Versuchen mit fester Kothbildung trotz sorgfältigster mikroskopischer Untersuchung durch Hermann, Langendorff, Nauwerck nicht eine einzige Epithelzelle im Ringinhalte gefunden wurde. Wir kommen später noch einmal darauf zurück.

Nach diesen neueren Untersuchungen mussten wir zu einer anderen Auffassung des Ringkothes kommen, als wir sie anfangs gehabt hatten. Das Nächstliegende war es ja gewesen, anzunehmen, dass der Ringkoth einfach eingedicktes, durch die Anwesenheit von Mikroorganismen mehr oder weniger verändertes Darmsekret sei. Wir hatten früher, unbefriedigt von dem makroskopischen Befunde bei früh verendeten Thieren, die mikroskopische Untersuchung des Ringinhalts bei solchen unterlassen und uns nur an die fertigen Produkte gelungener Fälle gehalten. Jetzt, wo wir neben der anfänglich vorhandenen und relativ klaren Ringflüssigkeit, hinter der etwas anderes, als Darmsekret zu vermuthen, kein Anlass vorliegt, die gewaltigen Mengen sich abstossender Darmepithelien gesehen und beobachtet hatten, wie dieselben in die Flüssigkeit übergehen, dort zerfallen und schliesslich zu ganz demselben Detritus werden, der in früheren Fällen den gebildeten festen Koth zusammengesetzt hatte, mussten wir nothwendig zu der Annahme kommen, dass nicht nur ein sehr wesentlicher Theil, sondern geradezu die Hauptmasse des Ringkothes aus zerfallenen Darmepithelien stammt. Daneben natürlich enthält er auch eingedicktes Darmsekret, aus dem z. B. die zahlreichen Krystalle von kohlensaurem Kalk, die stets gefunden wurden, herzuleiten sein dürften.

Sehr erhebliche Bedenken aber stiessen uns nun gegenüber der Frage auf, ob es sich denn hier um einen physiologischen Vorgang handelt? War es nicht möglich, dass eine Entzündung der Ringschleimhaut zur Abstossung der Epithelien und damit zur Kothbildung den Anlass gab, und dass unter normalen Verhältnissen Beides ausblieb? Musste nicht ferner die Abstossung so gewaltiger Zellenmassen von einem einschichtigen Epithel aus, ein in der Physiologie ganz ohne Analogie stehender Vorgang, unsern Verdacht erregen?

Wir glauben trotzdem, dass wir es mit physiologischen Verhältnissen zu thun haben. Schon Hermann hatte darauf hingewiesen, dass bei einem seiner Hunde gar keine, bei einem zweiten nur ganz vorübergehende Symptome einer Erkrankung vorhanden gewesen sind und dass die Schleimhaut der Ringe mikroskopisch stets völlig normal war. Unter unseren Hunden hatten wir allerdings keinen, der nicht gegen Ende Spuren von Unwohlsein gezeigt hätte. Eine Entzündung des Ringes war, wenn auch im

ersten Beginne, ebenfalls bei fast allen vorhanden. Der Erkrankung war aber, den Symptomen nach sicher, dem Sektionsbefunde zufolge wahrscheinlich, stets eine überwiegende Anzahl vollkommen gesunder Tage vorausgegangen. Bei den früh gestorbenen Thieren war die letale Peritonitis durch Infektion bei der Operation oder von der Darmnaht ausgegangen. Sie bestand jedenfalls also schon einige Zeit, bevor sie sich auf den Ring und durch dessen Dicke auf die Ringschleimhaut fortgepflanzt hatte. Da mit Ausnahme von Fall 1 einige gesunde Tage stets vorhanden waren, so hatte der Ring jedenfalls mehr Zeit zu physiologischer Absonderung als zu pathologischer Exsudation gehabt, und das gewöhnliche Produkt letzterer, Eiter, fand sich dem entsprechend auch stets in geringerer Menge, als die Epithelien. Bei den erst nach längerer Zeit erkrankten Thieren, bei denen die Erkrankung erst vom gespannten Ringe ausging, hatten wir nach noch längerer gesunder Zeit das Thier so früh getödtet, dass die Entzündung noch auf den Ring beschränkt war. Hier konnte der Einfluss der letzteren also auch gegenüber dem normalen Verhalten ein nur sehr geringer sein.

Dass in der Darmschleimhaut ferner eine sehr lebhafte Neubildung von Epithelien unter normalen Verhältnissen stattfindet, dafür sprechen die zahlreichen Karyokinesen, die Heidenhain[1]) in den Darmdrüsen gefunden hat.

Aber auch auf experimentellem Wege sind wir in der Ansicht von der physiologischen Natur der Epithelabstossung bestärkt worden. Es hatte von vornherein nahe gelegen, die Anwesenheit lebender und sich vermehrender Mikroben im Ringe als die Ursache eines Reizes anzusehen, der die Schleimhaut zu physiologischer oder pathologischer Produktivität anregte. Sicher konnten diese Mikroorganismen als die Ursache der Entzündung im Ringe angesehen werden, wenn dieselbe nach gutem Ueberstehen der ersten acht Tage nach der Operation eintrat. So konnten wir denn hoffen, sowohl der Entzündung im Ringe vorzubeugen, als die abnormen Reize der Darmbakterien auf die Schleimhaut zu verhindern, wenn wir die letzteren durch antiseptische Flüssigkeiten

1) Heidenhain: Beiträge zur Histologie und Physiologie der Dünndarmschleimhaut. Pflüger's Archiv 1888, Supplement, pg. 26 u. 27. (Herr Professor Heidenhain hat auch privatim Herrn Prof. Hermann auf die Betheiligung des Darmepithels hingewiesen, für welche ersterer an Thiry'-schen Fisteln Belege erhalten hatte.)

vernichteten. Schon ganz im Anfang war es von uns versucht worden, der Ausspülflüssigkeit für den Ring Thymol zuzusetzen; doch hatten wir wenig Erfolg damit, da bei einfacher Durchspülung die kleinsten Falten der Schleimhaut wohl kaum von der Flüssigkeit berührt werden. Besseren Erfolg hatten wir in folgendem Falle.

6.

Kleine Hündin von 7,3 k Gewicht. Ring von 20 cm Länge; Durchspülung zunächst von $1^1/_2$ l warmen Wassers, dann von 1 l erwärmter Carbolsäure von $2^1/_2$ %. Vor Anlegung der letzten gewöhnlichen Vereinigungsnaht werden 18 ccm $2^1/_2$ %iger Carbolsäure in den Ring injicirt. Dieselben rufen starke Peristaltik und Sekretion der Schleimhaut hervor, so dass der Ring ziemlich gefüllt reponirt wird.

In den ersten drei Tagen Zeichen allgemeiner Carbolintoxication: grosse Schwäche, Zittern. Vom vierten Tage an nimmt das Thier Nahrung — Milch und Fleisch — zu sich und befindet sich anscheinend wohl. Nur die Bauchwunde heilt schlecht. Unter dem gut geheilten Hautschnitt war es zu Eiterung und Abscessbildung gekommen. Trotz entsprechender Maassnahmen stirbt das Thier, nachdem es plötzlich wieder matt und unlustig zum Fressen geworden, nach neun Tagen.

Sektion: Beginnende Peritonitis von der Bauchwunde aus; in der Peritonalhöhle ca. 150 ccm trüber fibrinös-eitriger Flüssigkeit. Netz und Därme mit der Bauchwunde fest verlöthet und in ihrer Umgebung stark injicirt. Der Bauchdeckenabscess nach innen durchgebrochen.

Beide Darmnähte gut geschlossen. Der Ring, sowie der grössere Theil der Dünndärme sind blass, ihr Peritoneum glatt und spiegelnd. Aus dem ziemlich stark gefüllten Ringe tritt beim Anschneiden eine Quantität klarer gelblicher Flüssigkeit. Im Ringe bleibt, die Schleimhaut gleichmässig bedeckend, eine dicke, weissliche, durchscheinende Gallerte, die sich unter dem Mikroskop als ganz aus Epithelien des Darms bestehend erweist. Eiterzellen, Bakterien und Kokken waren nicht zu sehen; es fehlte auch jeder fäkale oder faulige Geruch in dieser Masse.

Der Dünndarm war 1,85 m lang; die Naht war 1,03 m hinter dem Pylorus.

Der Fall ist durch die zugetretene Peritonitis getrübt, doch

war dieselbe auf den Ring noch nicht übergegangen. Reizung der Schleimhaut durch Mikroorganismen war es also in diesem Falle nicht, die die Epithelabstossung verursachte. Ob die chemische Reizung durch die Carbolsäure dagegen ganz ohne Belang ist, muss dahingestellt bleiben. Wenn man das Darminnere desinficiren will, wird man darum wohl nie ganz herumkommen.

Herr Professor Mikulicz hatte im Anschluss an die Hermann'schen Versuche bei Gelegenheit von Studien über Darmperistaltik einem Hunde einen Darmring angelegt, dabei aber die Modification angebracht, das Innere des Ringes so vollständig wie möglich zu desinficiren. Durch das excidirte Darmstück wurden Jodoformgazestreifen, die mit 5 % Carbolsäure getränkt waren, mehrmals durchgezogen. Der Hund wurde nach $3^1/_2$ Wochen bei vollem Wohlsein getödtet. Es fand sich, dass der Ring so stark geschrumpft war, dass wir ihn inmitten der zahlreichen Verwachsungen des Peritoneums, welche das Thier in Folge dieser und mehrfacher anderer Darmoperationen hatte, nur mit Mühe fanden. Er enthielt nur einige Tropfen einer schleimigen Flüssigkeit. Die Schleimhaut war aber in Folge der mechanischen oder chemischen Misshandlung vollkommen atrophisch geworden. Der Gedanke, dass es sich um Atrophie durch Unthätigkeit gehandelt habe, ist jedenfalls zurückzuweisen. Eine solche Atrophie müsste ja dann auch jedesmal, wenn ein anus präternaturalis angelegt ist, in dem peripheren Darmabschnitte sich ausbilden.

Nicht viel besser ging es uns bei einem auf gleiche Weise behandelten Thier. Dasselbe wurde nach 14 Tagen bei vollem Wohlsein getödtet. Der Ring war schlaff und stark geschrumpft. Zwischen den starken Verwachsungen, die ihn umgaben, lag dicht am Peritonealansatz des Ringes ein bohnengrosser Bluterguss. Im Ringe fanden wir etwas mussähnliche rothbraune Flüssigkeit; Bakterien fehlten; dagegen fanden sich zahlreiche rothe Blutkörperchen resp. Stromata, einzelne Leucocyten, einige wenige kleine Hämatoidinkrystalle und ebenso vereinzelte Epithelien. Die Schleimhaut war von zahlreichen Hämorrhagien durchsetzt, an anderen Stellen wieder blass und atrophisch.

Dass auch in diesem Falle die Schleimhaut durch das Ausreiben mit der Gaze zu sehr mitgenommen worden, um physiologische Produkte zu liefern, liegt auf der Hand. Wünschenswerth bliebe es aber, dass noch weitere Versuche an desinficirten Darm-

stücken gemacht werden; wir glauben, dass eine vollkommene Desinfection auch mit schonenderen Mitteln zu erreichen sein wird, und da man dann voraussichtlich die Thiere sehr lange am Leben erhalten können wird, so könnten die Resultate recht interessante sein. Leider sind wir durch persönliche Verhältnisse zu einem vorläufigen Abschluss unserer Versuche gezwungen.

Quantitativer Ueberblick.

In der Mehrzahl unserer Fälle wäre eine quantitative Bestimmung des Ringkothes mit zu viel Fehlern behaftet gewesen, unter denen die Kürze der Versuchsdauer und die Schwierigkeit die gebildeten Kothmengen rein zu gewinnen, ohne Schleimhaut mitzunehmen oder ohne zuviel zurückzulassen, obenan stehen. Nur bei drei von allen hier operirten Hunden ist die gelieferte Trockenkothmenge mit Genauigkeit zu berechnen gewesen. Es sind dies die beiden in der Publikation Herrn Professor Hermann's pg. 96 erwähnten Fälle und der Fall 5 unserer Versuchsreihe. Zu diesem Zwecke wurde nach dem Verhältniss zwischen Ringlänge und Gesammtlänge des Dünndarms und aus der im Ringe gefundenen Faecalmenge die Kothmasse berechnet, welche der ganze Dünndarm während der Versuchszeit geliefert haben würde. Die erhaltene Zahl wurde durch die Anzahl der Versuchstage dividirt und weiterhin nach dem gefundenen procentualen Trockenrückstand des im Ringe enthaltenen Kothes die berechnete Menge frischen Kothes als Trockenkoth ausgedrückt. So erhielten wir die tägliche Trockenkothmenge, die der Dünndarm des Thieres geliefert haben würde. Aus der folgenden Tabelle ergeben sich die Werthe:

Gewicht des Thieres	Versuchszeit in Tagen	Länge des Ringes	Länge des ganzen Dünndarms	Kothmenge frisch	Trocken-rückstand in Procenten	Daraus folgt: Trockenkoth pro Tag
40 kg	16	45 cm	470 cm	60 g	28,11 %	11,01 g
35 "	25	33 "	401 "	45 "	29,27 "	5,25 "
22,15 "	14	60 "	310 "	330 "	4,12 "	5,02 "

Unsere Thiere erhielten vorwiegend Fleischnahrung (c. 500—1000 g pro Tag); daneben täglich 1 Liter Milch, nur ganz aus-

nahmsweise Brod oder Kartoffeln. Sie verhielten sich also im Ganzen wie Hunde bei mittlerer Fleischkost. Da von Voit und seinen Schülern nachgewiesen ist, dass bei Hunden reine Fleischnahrung einen Koth giebt, der keine Fleischreste enthält, mithin nur aus Produkten des Verdauungskanals und der in ihn mündenden Drüsen besteht, so ist es interessant, die Trockenkothbestimmungen dieser Versuche mit den unseren zu vergleichen.

Müller[1]) giebt nun eine grosse Anzahl von solchen Bestimmungen, unter denen ich im Folgenden diejenigen auswähle, bei denen das Verhältniss des Körpergewichts zur Nahrungsmenge sich in den Breiten bewegte, wie bei unseren 3 Hunden, d. h. bei denen das Körpergewicht das 20 bis 40 fache der täglichen Fleischnahrung ausmachte [2]).

Gewicht des Hundes	Versuchstage	Fleischmenge pro Tag	Trockenkoth pro Tag
34	9	1100	7,5
34	12	1100	9,96
35	6	1000	8,5
34	49	1500	9,6
32	23	1500	8,76
33	21	1500	11,3
31	10	1500	12,8
34	34	1500	9,0
31	20	1500	7,8
33	16	1500	10,9
31	13	1500	9,4
35	13	1500	8,8
31	9	1500	10,9
34	4	1500	12,1
34	7	1500	10,9
35	8	1500	10,7
38	10	1800	10,3
29	48	1000	11,2
26	9	1200	8,2
26	5	1000	9,2
20	6	1000	7,3
20	5	1000	12,3
17	22	600	5,0

1) Ueber den normalen Koth des Fleischfressers. Zeitschr. f. Biologie XX, pg. 343.

2) Müller weist nämlich nach, dass die Menge der täglichen Fleischnahrung mittelbar durch Beeinflussung des Ernährungszustandes einen grossen Einfluss auf die Fleischkothmenge ausübt.

Summirt man die Zahlen der ersten und letzten Rubrik, und dividirt durch die Zahl der Thiere (23), so ergiebt sich im Mittel für 30,7 kg Thier 9,67 g Trockenkoth pro die. Verfährt man in gleicher Weise bei unseren 3 Thieren, so erhält man für 32,38 kg Thier 7,09 gr Trockenkoth. Auf 100 kg Thier berechnet giebt das für unsere Versuche 21,9, für diejenigen Müller's 31,5 gr. Nach unseren — allerdings viel zu spärlichen Versuchen — würde also die Kothmenge, die der Dünndarm allein producirt, ca. 70 Procent derjenigen betragen, welche der ganze Verdauungskanal nebst den zugehörigen grossen Drüsen bildet.

III.

Versuche mit Anlegung eines Anus praeternaturalis.

Die aus den Ringversuchen gewonnene Annahme der kothbildenden Eigenschaften des Dünndarms und des vorwiegend epithelialen Ursprungs dieser Kothbildung, die, wie wir uns nicht verhehlen, doch immer noch manche Bedenken erregen kann, fand in den nun folgenden Versuchen eine Bestätigung, die nahe an Gewissheit grenzt.

Von chirurgischer Seite konnten wir über das Schicksal des unteren Darmabschnitts bei Personen mit künstlichem After nichts Gewisses erfahren. Auch ist wohl selten bei chirurgischen Operationen das abführende Darmstück vollständig vor dem Eindringen von Fäcalien von oben her geschützt gewesen. Wir haben darum 3 Hunden einen Anus praeternaturalis im unteren Dünndarm angelegt, das obere Darmende in die Bauchwunde eingenäht, das untere durch Nähte verschlossen reponirt und abgewartet, was wir im letzteren finden würden. Die leicht auszuführende Operation gelang in allen 3 Fällen vollkommen. Trotzdem starben 2 von diesen Hunden schon nach $5^1/_2$ und $7^1/_2$ Tagen; der 3. wurde bei gutem Wohlsein nach 18 Tagen getödtet. — Die permanente Durchnässung der Thiere durch den flüssigen aus dem künstlichen After sickernden Koth, vielleicht auch eine ungenügende Ausnützung der Nahrung in dem verkürzten Darmkanal mag an dem frühen Tode der ersten beiden Thiere Schuld gewesen sein. Bei dem 3., einem grossen Thiere, unterzog Herr Kollege Blitstein sich der Mühe, nicht nur die Wunde täglich zu reinigen, sondern das ganze

Thier vollständig trocken abzureiben. Möglich ist es aber auch, dass kleine Thiere, wie die beiden ersten es waren, schwere Operationen schlechter vertragen, als grosse. Wenigstens glauben wir bei den Ringversuchen diese Thatsache beobachtet zu haben.

Die Protokolle des Herrn Kollegen Blitstein lauten:

1.

Kleine Hündin von 6,3 kg Gewicht. 0,06 Morph. subcutan. Schnitt in der Linea alba. Der nach Eröffnung des Peritoneums und Durchreissung des vorliegenden Netzes vorgeholte Dünndarm wird bis zum Coecum verfolgt und ca. $^2/_3$ m oberhalb desselben durchschnitten. Das freie Ende des unteren Darmabschnitts wird durch Lembert'sche Nähte geschlossen, d. h. in diesem Falle also Nähte, die den Peritonealüberzug des Darms jederseits doppelt fassen und den oberen Darmrand ringsherum einstülpen. Versenkung des unteren Darmabschnittes und Einnähung des oberen in die Bauchwunde, sowie Vernähung des restirenden Theiles der letzteren.

In Folge des destruirenden Einflusses des aussickernden Kothes Heilung nur langsam, per granulationem. Starkes Eczem der Bauchhaut. Der Hund ist die ganze Zeit über nicht ganz wohl, frisst nur ungenügend. Zunehmende Mattigkeit und Exitus nach $5^1/_2$ Tagen.

Sektion: Endgewicht 5,19 kg. In der Abdominalhöhle rings um die Bauchwunde leicht sich lösende Adhäsionen; keine Peritonitis. Das freie Ende des unteren Darmabschnittes ist mit der Innenfläche der Bauchwand verlöthet. Länge des oberen Dünndarmabschnitts bis zum anus praetern. = 192 cm, Länge des unteren Dünndarms 80 cm, des Coecum 4, des Dickdarms 30 cm.

Das untere Dünndarmstück ist schwach angefüllt. Beim Aufschneiden der Länge nach sieht man in ihm eine Masse, die sich ziemlich deutlich in zwei Theile sondert. Den einen bildet ein dicker grauweisser Belag auf der intakten Schleimhaut, ganz so, wie wir ihn in den Darmringen gesehen hatten. Der zweite besteht in einer gelblichen, cohärenten, fettig glänzenden Axenschicht, etwa von der Consistenz weichen Wachses. Dieselbe zieht sich als axialer ununterbrochener Streifen bis nahe an das Coecum; hier, im untersten Ileum, zerfällt er in einzelne Klumpen, und die gelbe Farbe macht einer mehr ins Grünlich-graue spielenden

Platz. Diese Klumpen setzen sich auch in den Dickdarm fort, wo sie eine noch dunklere Farbe annehmen. Im Rectum findet sich eine wurstförmige Masse, deren anale Hälfte gallenhaltiger und die Pettenkofer'sche Reaktion gebender Koth ist. Die obere Hälfte aber gleicht den höher gelegenen Klumpen im Dickdarm.

Mikroskopisch: Der grauweisse Beleg besteht ganz aus Epithelien des Dünndarms. In der Axenschicht sieht man ebenfalls Epithelien; dieselben sind aber zum grössten Theile zerfallen und zwar um so vollständiger, je weiter man nach unten geht. Hier findet sich ein vollständiger Detritus, der Kokken und Bakterien und auch Kalkkrystalle enthält.

Die gelben Massen im Dünndarm und die grünlich-grauen im Dickdarm wiegen zusammen 5,25 g mit 1,3 g Trockenrückstand. Der obere Theil der Wurst im Dickdarm 7,5 g mit 2,81 g Trockenrückstand.

2.

Kleine Hündin; Anfangsgewicht 4990, Endgewicht 3760 g.

Operation den 17. V. 90 wie bei I. Auch hier entsteht im Verlaufe der Wundheilung starkes Eczem der Bauchhaut und in der Umgebung des Anus praeternaturalis kleine Abscesse. Der Hund frisst ebenfalls nur wenig und verendet in der Nacht vom 24. zum 25. V.

Dickdarm und Coecum 27 cm lang; das untere Dünndarmstück 50, das obere 111 cm.

Im unteren Dünndarm wieder dieselbe Wand- und Axenschicht, im Dickdarm einzelne Klumpen, die sich gegen den kreidigen Koth im untersten Rectum (dem Hunde war bei der Operation Knochenmehl in das untere Darmende eingeschoben) deutlich abgrenzen. Der grauweisse Belag der Dünndarmschleimhaut nimmt nach dem Coecum zu ab.

Dickdarminhalt 4,741 g mit 1,620 Trockensubstanz.

Dünndarminhalt (Axenschicht) 2,07 g, trocken 0,615.

3.

Grosse Hündin von 33,5 kg Gewicht.

Operation den 28. V. wie früher. In den künstlichen After

wird, um die Durchnässung zu verhüten, eine durch einen Pfropfen verschliessbare silberne Kanüle, deren inneres Ende birnförmige Gestalt hat, eingeführt. Dieselbe wurde 2 Tage lang, so lange der Hund noch unter der Nachwirkung des Morphium stand, gelitten, dann aber herausgepresst und auch nach Wiederbefestigung durch ein über dem Rücken des Thieres geknotetes Band vom Hunde wieder herausgerissen.

Gute Wundheilung und leidlich normales Verhalten des Thieres bei reichlicher Fleischnahrung und sorgfältiger Pflege. Am zweiten Tage ist aus dem natürlichen After etwas normaler Koth entleert worden; eine weitere Entleerung hat nicht stattgehabt.

Den 16. VI. Tödtung und Sektion. Gewicht 29,5 kg.

Vorzügliche Heilung des anus praeternat. Dünndarm bis zu ihm 3,05 m. Der abführende Dünndarm beginnt als stark gefüllter Schlauch etwa 12 cm oberhalb des Coecum. Das ganze obere Ende ist invaginirt, so dass es in den Dickdarm tief herabreicht und denselben stark anfüllt. Beim Anschneiden des Dickdarms trifft man also auf die Schleimhautfläche des eingestülpten Dünndarms. Zwischen dieser und der Dickdarmschleimhaut findet sich neben einer Anzahl entweichender Gasblasen eine nur wenige cbcm betragende Menge einer stark riechenden halbflüssigen bräunlichen Masse, die mikroskopisch aus Detritus, grossen braunen Schollen und Epithelien besteht.

Im Bereiche des Dünndarms findet sich zwischen den beiden einander zugekehrten Schleimhautflächen desselben eine trockene, zähe, in Platten abziehbare graugrüne Masse, etwa 10 g betragend, die ganz aus Epithelien besteht.

Im Rectum 90 g eines dicken festen Kothes; er enthält zahlreiche Haare, die aber auch noch weiter oben mit den der Dickdarmschleimhaut anhaftenden kleineren Fäcalpartikelchen zusammen sich finden. Diese grenzen sich gegen die braune Flüssigkeit oben ziemlich scharf ab. Mikroskopisch sind in dem Rectalpfropf keine Nahrungsreste zu finden, sondern nur Detritus, braune Schollen, Bacterien, Haare, Bandwurmeier. Der Nachweis von Gallenresten war chemisch ebenfalls nicht zu führen; trotzdem ist es uns zweifelhaft, ob diese 90 g nicht doch noch alte Fäcalmassen waren, wie es die in ihnen enthaltenen Haare zwar nicht beweisen, aber doch vermuthen lassen. Gerade dieser letzte, sonst

so gut gelungene Versuch, ist, wie man sieht, durch die Invagination also gestört. Bei etwaigen künftigen Operationen würde es sich wohl empfehlen, das freie Ende des unteren Dünndarmabschnitts an die Bauchwand anzunähen. — Indess genügen die geschilderten Befunde unserer Ansicht nach vollkommen. Auch hier ist die Bildung von Koth in dem abgesonderten unteren Darmabschnitt erwiesen und ebenso die vorwiegend epitheliale Natur dieser Bildung. Diese Versuche sind sogar ganz besonders beweisend, denn hier waren keinerlei abnorme Reize auf den unteren Darmabschnitt vorhanden. Der Entleerung der eingeschlossenen Substanzen stand Nichts im Wege, eine Stauung war ebenso ausgeschlossen, wie eine Entzündung, und auch von chemischer Reizung der Schleimhaut konnte hier, wo keine fremde Flüssigkeit in das Darmlumen gelangte, keine Rede sein.

Berechnet man aus den oben gegebenen Daten die Trockenkothmenge pro Tag, so hatte der erste, im Mittel etwa 5,8 Kilo wiegende Hund 2,54, der zweite, 4,3 Kilo wiegende, 1,6 g Trockenkoth pro Tag gebildet, eine Menge, die nach den Müller'schen Zahlen (s. oben) der Kleinheit der Thiere etwa entsprechen mag.

So haben wir denn aus den im Vorstehenden besprochenen Parallelversuchen ein im Wesentlichen übereinstimmendes Ergebniss gewonnen: der Darm liefert selbständig eine erhebliche Menge von flüssigen oder festen Stoffen, die schon an und für sich genügen, um eine kothähnliche Masse zu formen, die sich aber in der Norm dem Chymusbrei innig beimengen und einen erheblichen Antheil der gesammten Fäcalien ausmachen müssen. Das Aussehen und die Zusammensetzung dieses eigentlichen Darmkoths bot allerdings in unseren Versuchen gewisse Verschiedenheiten, doch lassen sich dieselben, wie ich glaube, aus den verschiedenen Versuchsbedingungen genügend erklären. Es sei mir gestattet, zum Schluss noch mit einigen Worten hierbei zu verweilen.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei dem Falle 6 (conf. weiter oben), in welchem eine vollständige Desinfektion des Darmlumens gelungen war. Wir fanden hier zwei verschiedene Produkte im Ringe: 1) eine klare gelbliche alkalische Flüssigkeit, die wir wohl für Darmsaft halten dürfen, und 2) unveränderte

Darmepithelien. Diese beiden können wir also, obwohl uns weitere brauchbare Versuche mit Verhinderung einer Zersetzung der gebildeten Stoffe durch Mikroorganismen fehlen, als die ursprünglichen Bildner des von der Darmwand selbst gelieferten Kothes ansehen. In allen anderen Fällen waren im Darme Fäulnisserreger vorhanden. Hier lagen die Verhältnisse mit Auslassung alles Unwesentlichen folgendermaassen:

1) In den Versuchen an hungernden Gallenfistelhunden hatten wir im Darme zu erwarten: Darmsaft, Epithelien, Bakterien und Pankreassaft. Wir fanden eine pechschwarze Masse, die sich unter dem Mikroskop als Detritus erwies, der Kokken und Bakterien und eine Anzahl pigmentirter unregelmässiger Schollen enthielt.

2) In den Darmringen mussten wir antreffen: Darmsaft, Epithelien und Mikroorganismen. In der That war dieses der anfängliche Befund. Die Epithelien zerfielen späterhin schnell zu Detritus und die Bakterien und Kokken vermehrten sich so rapide, dass das schliessliche Endprodukt, ein grünlich-grauer Koth, fast ganz aus Mikroorganismen bestand.

3) In dem peripheren Darmabschnitt der Thiere mit anus praeternaturalis konnten sich nur Darmsaft, Epithelien und Bakterien ansammeln, also dieselben Bestandtheile, wie in Reihe 2). Dazu kamen dann noch im untersten Theile Dickdarmprodukte. In der That fand sich im Dünndarm ein ganz ähnlicher gelblich-grauer bis grünlich-grauer Koth, der aber sehr zahlreiche und gut erhaltene Epithelien aufwies. — In dem durch Invagination complicirten Falle enthielt der Dickdarm aber noch einen schlammigen schwärzlichen Koth, der Aehnlichkeit mit dem Hungerkothe bei Gallenfistelthieren hatte und auch unter dem Mikroskop in einem allgemeinen Detritus Mikroben und jene grossen braunen Schollen enthielt, die sich im Hungerkoth gefunden hatten.

Die Verschiedenheit dieser Massen lässt sich im Ganzen, wie ich glaube, befriedigend erklären. Um mit den Epithelien zu beginnen, so fehlen dieselben bei hungernden Gallenfistelhunden und sind am besten erhalten bei Thieren mit Anus praeternaturalis, während sie in Darmringen zwar reichlich exfoliirt werden, aber sehr schnell und vollständig zerfallen. Das Fehlen derselben bei Reihe 1) müssen wir entschieden den verdauenden Wirkungen des Pankreassaftes zuschreiben, der hier allein freien

Zutritt hat. Zur Erklärung des ungleichen Zerfalls bei Reihe 2) und 3) muss man annehmen, dass in den Darmringen die Fäulniss eine weit intensivere ist, was ja schon daraus zu ersehen ist, dass schliesslich der Ringinhalt fast ganz aus Bakterien und Kokken zusammengesetzt ist.

Eine so weitgehende Zersetzung war in den Versuchen mit Anus praeternaturalis nie zu finden. Die starke Ansammlung von fäulnissfähigen Massen in beschränktem Raume, aus dem es keinen Ausweg giebt, ist wahrscheinlich der Entwicklung der Mikroben günstiger, als die Vertheilung des gelieferten Kothes auf eine breitere Fläche, mit der Möglichkeit einer Fortbewegung und Entleerung. Auch mag wohl in dem Darmringe, dessen Inhalt wir uns in beständig kreisender Bewegung zu denken haben, durch die Peristaltik eine sehr viel innigere Durchknetung und Vermischung der Fäulnisserreger mit der fäulnissfähigen Masse stattfinden, die ebenfalls eine lebhaftere Zersetzung begünstigt.

Eine andere bemerkenswerthe Verschiedenheit bietet die Farbe der Kothmassen. Der pechschwarze Koth der hungernden Gallenfistelthiere unterscheidet sich auf den ersten Blick sehr bedeutend von dem grauen Koth in ausgeschalteten Darmabschnitten. Es wäre möglich, dass auch hier die Anwesenheit von Pankreassaft von Einfluss ist. Wenigstens hat Herr Professor Langendorff — mündlicher Mittheilung zu Folge — beobachtet, dass ein Gemisch von Fibrin und Pankreassaft, das einige Zeit Körpertemperatur ausgesetzt ist, eine schwarze Farbe annimmt. Ob dieses allein zur Bildung dieser intensiven Schwärze genügt, oder ob dieser Farbstoff sich anderswo, etwa aus dem Blutfarbstoff herleitet, ist, solange nicht eingehendere Untersuchungen darüber angestellt sind, eine müssige Frage. Auch die dunklen unregelmässigen Schollen, die die Hauptträger dieses Farbstoffes zu sein scheinen, bedürfen noch einer Erklärung.

Die Versuche, die zur Lösung dieser und anderer mit der Kothbildung zusammenhängender Fragen dienen sollen, werden im hiesigen physiologischen Laboratorium fortgesetzt werden. Die vorliegende Publication wäre noch nicht erfolgt, wenn wir selbst nicht an der Fortsetzung der Versuche verhindert wären.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Klausenburg.)

Ueber die Verdaulichkeit des Leimes.

Von

Ferd. Klug.

Die Frage, ob Leim während der Verdauung irgend welche Veränderung erleidet und worin diese Veränderung besteht, wurde von den Autoren in sehr verschiedener Weise beantwortet. Während nach Meissner[1]) und Kirchner[2]) der Leim durch die Verdauung nicht verändert wird, haben andere Forscher, wie Frerichs[3]), Im Thurn[4]), Metzler[5]), Kühne[6]), Schweder[7]), Fede[8]) und Etzinger[9]) gefunden, dass der Leim unter dem Einflusse des Magensaftes sein Gelatinirungsvermögen einbüsst. Nach einigen dieser letzteren Forscher verdankt der Magensaft diese Wirkung der in demselben enthaltenen Salzsäure (Im Thurn), nach Anderen ist dieselbe eine Folge der gemeinsamen Einwirkung der Säure und des Pepsins. Doch auch diejenigen, welche die Verdaulichkeit des Leimes im Magensafte beobachtet hatten, fanden dieselbe sehr langsam vorschreitend; Tage schienen nöthig, bis der Leim sein Gelatinirungsvermögen verlor.

Die Aenderung betreffend, welche der Leim während der

---

1) Henle und Meissner's Berichte etc. 1859. S. 236.

2) Zeitschrift für rationelle Medicin. III. Reihe Bd. XIV. S. 311—319.

3) Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. III. Th. I. S. 811 und 856.

4) Moleschott's Untersuchungen etc. Bd. V. S. 315—318.

5) Metzler, Beiträge zur Lehre von der Verdauung des Leimes etc. Giessen 1860.

6) Kühne W., Lehrbuch d. physiolog. Chemie. Leipzig 1866. S. 356—359.

7) Henle und Meissner's Berichte etc. 1867. S. 291.

8) Henle und Meissner's Berichte etc. 1868. S. 164.

9) Zeitschrift f. Biologie Bd. X. S. 84—110.

Verdauung erleidet, lauten die meisten Resultate in der That dahin, dass derselbe sein Gelatinirungsvermögen einbüsst, sonst aber nicht verändert wird. Es ist demnach fraglich, ob während der Verdauung sogenannte Leimpeptone gebildet werden.

Bezüglich der Wirkung des Pankreassaftes auf Leim sind mir keine directen Versuche bekannt. Nencki hat wohl Leim und Pankreas 4—5 Tage lang bei 40° C. faulen lassen, und fand auch, dass 19.4 % des Leimes hierdurch sein Gelatinirungsvermögen verlor, doch diese Aenderung war unbedeutend und konnte wohl zum Theil die Folge der Pankreasverdauung sein, war aber gewiss auch eine Folge der Fäulniss. Nach einer vorläufigen Mittheilung von Tatarinoff[1]) soll Leim durch Pankreassaft, eben so wie durch Magensaft, Säuren, Alkalien und in geschmolzenen Röhren durch eine Temperatur von 120—130° C., in Glutinpepton umgewandelt werden.

Hofmeister[2]) kochte Leim in einem bedeckten Kupferkessel 30 Stunden lang, filtrirte die Flüssigkeit von den beigemengten unlöslichen Substanzen ab und stellte aus dem Filtrat zwei Leimpeptone dar, welche er Hemicollin und Semiglutin nannte.

Die folgenden Versuche zeigen, dass der Leim durch Magensaft und Bauchspeichel rasch verdaut wird sowie auch welche Produkte diese Verdauungen liefern; ferner habe ich auch Versuche mit Einführung des Leimes und seiner Verdauungsprodukte in den Organismus gemacht, welche ich in Folgendem ebenfalls wiedergebe, da dieselben geeignet sind, einiges Licht über das weitere Schicksal dieser Substanzen im Organismus zu geben.

1. Einiges über den Leim und dessen Verdaulichkeit.

Den Leim, den ich zu meinen Versuchen benutzte, bereitete ich aus feiner französischer Gelatine, indem ich dieselbe vier Tage lang mit täglich zweimal erneuertem destillirten Wasser gewaschen und dann über dem Wasserbade in dünnen Schichten rasch getrocknet hatte. Dieser Leim enthielt keine nachweisbaren Albumine und 0.88 % fixe Bestandtheile; letztere bestanden beinahe ausschliesslich

1) Centralblatt f. die medic. Wissenschaften 1877. No. 16.

2) Zeitschrift f. physiol. Chemie. Bd. II. S. 302—303.

aus Calciumphosphat. Die mit demselben gemachten Versuche ergaben einige ganz charakteristische Reactionen:

1. Leim wird nicht gefällt durch Mineralsäuren und Essigsäure, nicht gelb gefärbt durch Salpetersäure.

2. Gefällt wird Leim durch Pikrinsäure, Chromsäure, Gerbsäure, Platinchlorid, Quecksilberchlorid, Jodquecksilberjodkalium und Salzsäure; alle diese Niederschläge werden aber in der Hitze gelöst und scheiden sich beim Abkühlen wieder aus.

3. Gefällt wird Leim noch durch Alkohol, Phosphorwolframsäure und Salzsäure, ferner durch basisches Bleiacetat, schwefelsaures Ammoniak; doch diese Niederschläge werden in der Hitze nicht gelöst.

4. Salpetersaures Quecksilberoxydul wird beim Kochen reducirt.

5. Mit Natronlauge und stark verdünntem schwefelsaurem Kupferoxyd entsteht kein Niederschlag, doch blauviolette Färbung (Biuretreaction).

6. Essigsäure und Ferrocyankalium geben keine Fällung.

7. Millon'sches Reagens giebt einen flockigen Niederschlag, der sich in der Hitze löst, hierbei färbt sich die ganze Flüssigkeit roth.

8. Concentrirte Schwefelsäure und Eisessig erzeugen eine weisse Trübung, die sich beim Schütteln in der Flüssigkeit löst; zugleich färbt sich die ganze Flüssigkeit langsam roth.

9. Mit Salpetersäure und Natronlauge erhitzt, wird Leim schwach gelb.

10. Pettenkoffer's Gallenprobe giebt gelbbraune Farbe.

11. Schwefelsaures Kupferoxyd färbt Leimlösungen blau.

Man kann also Leim von Eiweiss dadurch unterscheiden, dass die Fällung, welche man auf Pikrinsäure erhält, in der Wärme verschwindet und dass die betreffende Flüssigkeit auch die Biuretreaction giebt, während auf Salpetersäure keine Fällung und keine Gelbfärbung erfolgt. Die Pikrinsäurereaction allein genügt nicht, weil es auch andere Substanzen giebt, die mit Pikrinsäure in der Hitze lösliche Niederschläge geben, solche Körper sind das Kochsalz, das schwefelsaure Ammoniak und die gallensauren Salze.

Die Analysen ergaben folgende Resultate[1]):

1. 0.2495 g Substanz gaben 0.3906 g Kohlensäure, entspr. 0.1065 g Kohlenstoff = 42.68 % und 0.1565 g Wasser, entspr. 0.0174 g Wasserstoff = 6.67 %,

2. 0.2700 g Substanz gaben 0.4165 g Kohlensäure, entspr. 0.1136 g Kohlenstoff = 42.07 % und 0.1680 g Wasser, entspr. 0.0187 g Wasserstoff = 6.92 %.

3. 0.343 g Substanz gaben 45.3 ccm Stickstoff, gemessen bei 17.3° C. und 728 mm Barometerstand, entspr. 0.0523 g Stickstoff = 15.24 %.

4. 0.2240 g Substanz gaben 31.5 ccm Stickstoff, gemessen bei 17° C. und 732 mm Barometerstand, entspr. 0.03518 g Stickstoff = 15.7 %.

5. 0.227 g Substanz hinterliessen 0.002 g Asche = 0.88 %. Dieselbe bestand in überwiegendem Maasse aus Calciumphosphat.

Aschenfrei berechnet:

1.	Kohlenstoff	= 43.06 %	Wasserstoff	= 7.03 %.
2.	„	= 42.45 %	„	= 6.99 %.
3.	Stickstoff	= 15.38 %.		
4.	„	= 15,84 %.		

Mittelwerthe:

Kohlenstoff	= 42.75
Wasserstoff	= 7.00
Stickstoff	= 15.61
Sauerstoff und Schwefel	= 34.64
	100.00.

Dass dieser Leim durch den Magensaft des Menschen, des Hundes und Schweines, sowie auch durch den Bauchspeichel derselben und den des Rindes verdaut wird, haben directe Versuche ergeben. Ebenso zeigten meine Versuche auch, dass der Magensaft, den man aus den Labmagen der Rinder bereitet und der Fibrin ganz gut verdaut, auf Leim wirkungslos ist. Der letzte Umstand war auch Ursache der negativen Resultate von Meissner und Kirchner, welche Forscher ihren Magensaft mit käuflichem

1) Die Analyse des Leimes und seiner Verdauungsprodukte, war Herr Franz Koch, supl. Prof. der physiol. Chemie an hiesiger Universität, so freundlich auszuführen, da die Einrichtung meines, soeben neu erbauten Instituts noch nicht so weit fortgeschritten, dass in demselben chemische Analysen durchgeführt werden könnten; für diese Mühe sage ich Herrn Prof. Koch auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank.

französischen Pepsin bereitet hatten, das aus dem vierten Magen der Wiederkäuer dargestellt wird.

In einem Falle fand ich, dass von 10 gr Leim und Fibrin, durch je 100 gr Magensaft, binnen 3 Stunden verdaut wurden wie folgt:

Künstlicher Magensaft	Fibrin	Leim
vom Menschen	2.90 g	1.69 g
vom Hunde	3.47 „	2.59 „
vom Schwein	3.35 „	2.24 „
vom Rind	0	0
durch 0.4 %ige Salzsäure . .	0	0
durch destillirtes Wasser . .	0	0

Nach 8—10 Stunden anhaltender Verdauung war durch den Magensaft des Menschen, des Hundes und Schweines aller Leim verdaut, während die übrigen Flüssigkeiten auch noch am dritten Tage gelatinirten. Den Leim verdaut also weder das Pepsin noch 0,4 %ige Salzsäure für sich allein, sondern es ist zu dessen Verdauung die Gegenwart beider nöthig.

Wie gut Pankreassaft den Leim verdaut, zeigt folgender Versuch. 100 gr künstlicher Pankreassaft löste von je 5 gr Fibrin und Leim binnen 4 Stunden:

Künstlicher Bauchspeichel	Fibrin	Leim
vom Menschen	1 30 g	3.00 g
vom Hunde	1.11 „	1.30 „
vom Schwein	0.92 „	2.19 „
vom Rind	1.11 „	1.52 „

Bauchspeichel verdaut demnach Leim sehr gut.

Nachdem so festgesetzt war, dass Magensaft und Bauchspeichel den Leim in der That verdauen, schritt ich zur näheren Untersuchung der Verdauungsproducte.

2. Producte der Magenverdauung.

Um möglichst reine Verdauungsproducte zu erhalten, erzeugte ich den Magensaft nach dem Vorgehen von W. Kühne und Chittenden[1]), indem ich die Schleimhaut von 5 Schweinemägen fein

1) Zeitschrift f. Biologie. Bd. 22. S. 428.

zerstückelte, zum Verhüten der Fäulniss 5 g Thymol derselben zugab und das Gemisch in 5 Liter 0.5% Salzsäure bei 38—40° C. 12 Tage lang der Verdauung aussetzte. Um Magensaft zu erzeugen nahm ich stets die ganze Magenschleimhaut und nicht nur die des Fundus, denn der aus der Pylorusschleimhaut erzeugte Magensaft verdaute den Leim sehr gut, ja wie es scheint besser als das Fibrin.

Nach Ablauf der 12 Tage wurde das ganze durch ein Leinwandsäckchen filtrirt und das Filtrat mit schwefelsaurem Ammoniak gesättigt. Der aus Albumosen und Pepsin bestehende Niederschlag wurde mehreremale rasch mit destillirtem Wasser gewaschen, dann in ein Gefäss gegeben, das 2.5 l 0.4%iger Salzsäure und 4 g Thymol enthielt, und abermals einer 9 Tage anhaltenden Verdauung ausgesetzt, um alle Albumosen in Peptone umzuwandeln und so das Pepsin von denselben zu reinigen. Dann wurde die Flüssigkeit durch Papier filtrirt und das Filtrat abermals mit schwefelsaurem Ammoniak gesättigt; der jetzt erhaltene Niederschlag enthielt nur Pepsin. Dieses wusch ich noch zum wiederholten Male mit conc. schwefelsaurer Ammoniaklösung, um dasselbe möglichst frei von Pepton zu erhalten und gab schliesslich das Pepsin in 1 l 0.2%iger Salzsäure in den Dialysator, wo dasselbe unter Zugabe von Thymol 4 Tage lang der Dialyse ausgesetzt war. Zu der auf solche Weise gereinigten Pepsinlösung gab ich dann ein gleiches Volum 0.8%iger Salzsäure und hatte so eine 0.4%ige Salzsäure enthaltende Verdauungsflüssigkeit.

In 1.5 l dieses künstlichen Magensaftes gab ich 150 gr Glutin, ferner, zur Controlle, in weitere 0.5 l 50 gr gereinigtes Fibrin und setzte beide Flüssigkeiten einer 24stündigen Verdauung aus, nach welcher Zeit sowohl der Leim wie auch das Fibrin, unter Zurücklassung eines fein-flockigen Restes, ganz gelöst waren. Beide Flüssigkeiten wurden filtrirt und mit schwefelsaurem Ammoniak gesättigt. In dem Filtrat der gesättigten Leimlösung konnte durch die Biuretprobe kein Pepton nachgewiesen werden, obgleich ich sehr reichlich Natronlauge hinzugab.

Der bekannte Niederschlag des verdauten Fibrins bestand aus feinen weissen Flocken, welche aufgerüttelt der ganzen Flüssigkeit ein milchiges Aussehen verliehen, während jener der Leimlösung aus grossen, zusammenhaltenden, stark klebrigen, tropfenartigen Brocken bestand, die sich auf die Oberfläche der Flüssigkeit erhoben, während die Flüssigkeit selbst milchig trüb blieb.

Der Leimniederschlag, welcher, wie wir sehen werden, eine eben solche Zwischenstufe zwischen Leim und Leimpepton bildet, wie die Albumosen zwischen den Eiweissen und Eiweisspeptonen, kann in analoger Weise Glutose genannt werden.

Die durch das schwefelsaure Ammoniak gefällte Glutose löste ich in Wasser auf und erhielt aus deren Lösung durch Sättigung mit Kochsalz einen Niederschlag, welcher, da die gleiche Fällung der Hemialbumose durch Kühne und Chittenden[1]) Protoalbumose genannt wird, Protoglutose heissen mag. Aus dem Filtrate dieser Fällung konnte durch concentrirte Kochsalzlösung und Essigsäure (30 %) abermals ein reichlicher Niederschlag erhalten werden, welcher der Deuteroalbumose entsprechend Deuteroglutose zu nennen wäre. — Damit war auch alle Glutose aus der Lösung gefällt.

Beide Körper, die Proto- und Deuteroglutose, setzte ich nun, unter Zugabe von Thymol, einer 14tägigen Dialyse aus, nach welcher Zeit in denselben keine Spur von Kochsalz nachzuweisen war, während sie getrocknet noch 25 % Asche enthielten, und zwar hauptsächlich schwefelsaures Ammoniak. Aehnlich erging es mir auch mit durch schwefelsaures Ammoniak gefällten Leimlösungen. Leim und Glutose sind von schwefelsaurem Ammoniak durch Dialyse nicht, oder nur ungemein schwer zu trennen.

Die Lösungen beider Glutosen gaben übrigens genau die gleichen Reactionen:

1. Sie wurden nicht gefällt durch Mineralsäuren, Essigsäure und Alkalien.

2. Sie sind fällbar durch Pikrinsäure, Chromsäure, Tannin, Phosphorwolframsäure und Salzsäure, Jodquecksilberjodkalium und Salzsäure, Platinchlorid, Quecksilberchlorid; alle diese Niederschläge, mit Ausnahme des durch Phosphorwolframsäure erhaltenen Niederschlages, lösen sich in der Hitze und fallen beim Erkalten wieder aus.

3. 95procentiger Alkohol fällt die Glutosen. Dieser Niederschlag scheidet sich in klebrigen weissen Fasern und Flocken aus, die den Boden und Wänden des Gefässes zum grössten Theil mit solcher Zähigkeit anhaften, dass sie, ohne erheblichen Verlust, mit Alkohol gewaschen werden können.

---

1) Zeitschrift f. Biologie. Bd. 26. S. 324.

4. Essigsäure und Ferrocyankalium geben in kalter Lösung keine Fällung; die grüne Fällung, die man durch Erhitzen der Mischung erzeugt, geben Essigsäure und Ferrocyankalium auch für sich allein, also auch ohne Glutose.

5. Mit Salpetersäure gekocht folgt weder Fällung noch Gelbfärbung; auf Zugabe von Natronlauge tritt schwache Gelbfärbung ein.

6. Die mit Natronlauge alkalisch gemachte Flüssigkeit wird durch wenige Tropfen einer sehr verdünnten schwefelsauren Kupferoxydlösung purpurroth, bei mehr Zugabe blauviolett gefärbt.

7. Millon'sche Flüssigkeit erzeugt Fällung, welche sich in überflüssiger Menge des Reagens, sowie in der Hitze, löst; die Flüssigkeit selbst wird in der Hitze roth gefärbt.

8. Die Gallensäureprobe nach Pettenkofer giebt gelbe Färbung der Flüssigkeit.

9. Schwefelsaure Kupferoxydlösung färbt blau.

10. Salpetersaures Quecksilberoxydul wird in der Hitze rasch reducirt.

Da diese Glutosen, die Proto- und Deuteroglutose, nach dem Trocknen noch viel schwefelsaures Ammoniak enthalten, so waren dieselben zur Analyse unbrauchbar. Selbst durch reichliches Waschen mit Wasser, das mit grossem Verlust geschah, konnten sie vom schwefelsauren Ammoniak nicht befreit werden. Auf chemische Weise, etwa durch Baryumhydroxyd, wollte ich die Glutosen auch nicht von demselben befreien, weil die Alkalien auf Leim und Glutose hydrolitisch wirken. Dieser Umstand und die Erfahrung, das 95%iger Alkohol die Glutose aus deren Lösungen ausscheidet und dass dieser stark klebrige Niederschlag den Wänden der Gefässe anhaftet, demnach durch Waschen mit Alkohol von Pepsin und Albumosen — deren flockiger Niederschlag nicht klebrig ist, der Gefässwand nicht anhaftet — gereinigt werden kann, bewogen mich in Zukunft die Glutose statt durch schwefelsauren Ammoniak durch Alkohol zu fällen.

So bereitete ich in einem Falle aus der Schleimhaut zweier Schweinemägen mit 3 l 0.4%iger Salzsäure eine Verdauungsflüssigkeit dadurch, dass ich dieselben mehrere Tage der Verdauung aussetzte und dann filtrirte. In 100 gr des Filtrates gab ich 10 gr Fibrin, in das übrige 350 gr Leim und setzte dieselben einer Ver-

dauung von 30 Stunden aus. Der Leim war vollkommen verdaut, nur ein flockiger Rest blieb auf dem Boden des Gefässes übrig. Dieser Rest scheidet sich bei jeder Verdauung aus, bleibt unverdaut zurück, selbst wenn die Verdauung über eine Woche anhält, ist gar nicht klebrig, hat überhaupt nicht die Eigenschaften des Leimes oder des Glutins, muss also, nach Allem zu urtheilen, ein zu Folge der Verdauung von dem Leim abgespaltener Körper sein. Ich unterzog daher diesen Körper, den ich seiner Abstammung halber Apoglutin nennen will, auch einer eingehenden Beobachtung.

Aus dem syrupartig dicken Filtrat schied ich die Glutose durch dreimal soviel Alkohol aus, und wusch sie noch in energischer Weise mit Alkohol durch; dies geht zwar mit etwas Verlust an Glutose einher, dafür erhält man aber dieselbe auch frei von Albumosen und Peptonen. Auf dem Wasserbade zerfliesst der Glutoseniederschlag. Getrocknet bildet derselbe eine hornartig harte, sehr schwer pulverisirbare Masse, die sich in kaltem Wasser nur schwer, in heissem leicht löst, deren Lösungen aber nicht gelatiniren. Auch aus der Lösung dieser Glutose kann man die Proto- und Deuteroglutose gewinnen. Doch hielt ich diese Trennung für überflüssig, weil, ausser der Fällbarkeit des einen in neutraler, des anderen in saurer concentrirter Kochsalzlösung, zwischen den beiden Körpern kein Unterschied besteht. Kühne und Chittenden fanden auch die Proto- und Deuteroalbumosen nicht erheblich verschieden zusammengesetzt. Auch müsste man consequenter Weise diese Trennung in Proto- und Deutero-Körper bereits beim Leim beginnen, da sich schon der Leim aus neutraler concentrirter Kochsalzlösung nur theilweise ausscheidet, während ein beträchtlicher Rest erst durch Zugabe einer mit Essigsäure angesäuerten concentrirten Kochsalzlösung ausgeschieden wird. Aehnlich müsste man auch mit Eieralbumin und Serumalbumin vorgehen, da, wie ich fand, diese Substanzen sich dem Kochsalze gegenüber ähnlich verhalten. — Ob hier nicht das dem Leim und den erwähnten Albuminen anhaftende Calciumphosphat den Unterschied in der Fällbarkeit dieser Körper bedingt, etwa dadurch, dass dasselbe einen Theil des Leimes und Albumins trotz des Kochsalzes in Lösung erhält, bis die Essigsäure die Verbindung des Leimes mit dem Calciumphosphat nicht zerstört? Thatsache

ist es, dass mit wenig Salzsäure aus Eieralbumin bereitetes Acidalbumin sich in concentrirter Kochsalzlösung ganz ausscheidet.

Die durch Alkohol gefällte Glutose zeigt genau dieselben Reactionen wie die durch schwefelsaures Ammoniak gefällte, und hat den grossen Vortheil, mit schwefelsaurem Ammoniak nicht verunreinigt zu sein, was die Analysen erleichtert und die Reactionen sicherer macht. Schwefelsaures Ammoniak für sich allein giebt wie erwähnt mit Pikrinsäure auch eine Fällung, ebenso auch concentrirte Kochsalzlösung; diese Niederschläge sind in der Wärme ebenfalls löslich. Auch giebt schwefelsaures Ammoniak einen flockigen Niederschlag mit Phosphorwolframsäure und Salzsäure sowie mit Alkohol. Dies Alles erschwert den Nachweis von Leim bei Gegenwart von schwefelsaurem Ammoniak.

Nach dem Trocknen ergab die Analyse folgende Resultate:

1. 0.31 g Substanz gaben 0.447 g Kohlensäure, entspr. 0.12191 g Kohlenstoff = **39.32** % und 0.191 g Wasser entspr. 0.02122 g Wasserstoff = **6.845** %.

2. 0.363 g Substanz gaben 0.5205 g Kohlensäure entspr. 0.14196 g Kohlenstoff = **39.12** % und 0.2255 g Wasser entspr. 0.02505 g Wasserstoff = **6.90** %.

3. 0.267 g Substanz gaben 37.5 ccm Stickstoff, gemessen bei 19° C. und 732 mm Barometerstand, entspr. 0.04149 g Stickstoff = **15.5** %.

4. 0.8405 g Substanz hinterliess 0.018 g Asche = **2.14** %.

Aschenfrei berechnet:

1. Kohlenstoff 40.18 % Wasserstoff 6.99 %.
2. „ 39.94 % „ 7.05 %.
3. Stickstoff 15.86 %.

Mittelwerthe:

Kohlenstoff	= 40.06
Wasserstoff	= 7.02
Stickstoff	= 15.86
Sauerstoff und Schwefel	= 37.06
	100.00.

Die Glutose ist also kohlenstoffärmer und wasserstoffreicher als das Glutin, kann demnach als Hydrat des Leimes angesehen werden.

Das Apoglutin, der bei der Leimverdauung sich abspaltende Rest, beträgt im Mittel 5.69 % des der Verdauung ausgesetzten Leimes. Derselbe ist im heissen und kalten Wasser gleich

unlöslich, ist nicht klebrig und kann vollkommen nur in concentr. Schwefelsäure gelöst werden; diese Lösung erhält langsam eine mehr-weniger rothe Farbe. Die übrigen Säuren, wie Salzsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure und Essigsäure lösen das Apoglutin nur zum Theil; es bleibt immer eine schwache Trübung zurück, aus welcher sich nach dem Erhitzen ein flockiger Niederschlag ausscheidet. In ähnlicher Weise wirken auch die Alkalien.

1. Mit Salpetersäure gekocht tritt schwache Gelbfärbung ein.

2. Natronlauge und schwefelsaures Kupferoxyd geben violette Farbe.

3. Mit Millon'scher Flüssigkeit erhitzt tritt Rothfärbung ein.

4. Rohrzucker und Schwefelsäure geben gelbbraune Farbe.

5. Pankreassaft verdaut das Apoglutin nicht.

Die Analyse ergab folgende Resultate:

1. 0.2505 g Substanz gaben 0.4225 g Kohlensäure entspr. 0.11522 g Kohlenstoff = 45.99 % und 0.1605 g Wasser entspr. 0.017833 g Wasserstoff = 7.12 %.

2. 0.294 g Substanz gaben 0.4925 g Kohlensäure entspr. 0.13432 g Kohlenstoff = 45.69 % und 0.1880 g Wasser entspr. 0 02089 g Wasserstoff = 7.11 %.

3. 0.5575 g Substanz gab 67 ccm Stickstoff, gemessen bei 19 ^{0} C. und 732 mm Barometerstand, entspr. 0.074122 g Stickstoff = 13.29 %.

4. 0 2115 g Substanz hinterliess 0.011 g Asche = 5.2 %.

Aschenfrei berechnet:

1. Kohlenstoff = 48.60 % Wasserstoff = 7.52 %.
2. " = 48.19 % " = 7.49 %.
3. Stickstoff = 14.02 %.

Mittelwerthe:

Kohlenstoff	= 48.39
Wasserstoff	= 7.50
Stickstoff	= 14.02
Sauerstoff und Schwefel	= 30.09
	100.00.

Das Apoglutin ist also an Kohlenstoff und Stickstoff, insbesondere aber an ersterem, bedeutend reicher als der Leim. Da

sich Apoglutin bei jeder Verdauung ausscheidet, so folgt, dass Glutose aus Leim in der Weise gebildet wird, dass sich von diesem das Apoglutin abspaltet. Das Letztere ist weder Leim, noch kann es unter dem Einflusse der Verdauungssäfte zu Leim oder Glutose werden.

3. Producte der Pankreasverdauung.

Da es bis jetzt noch nicht gelungen ist, aus der Pankreasdrüse einen solchen Verdauungssaft zu bereiten, in welchem Peptone nicht vorkommen, da selbst das Pankreasextract, welches Kühne darstellt, fast 2 % Pepton enthält[1]), so machte ich meine Versuche aus dem filtrirten Extracte der, mit Wasser, einer Temperatur von 40° C. ausgesetzten Drüse. Zu diesem Zweck nahm ich 50 g trocken gepulverte Hundepankreas, gab zu derselben 1 l Wasser und 1 g Thymol und setzte diese Mischung zwei Tage lang der Verdauung aus. Den hierdurch gewonnenen Pankreassaft filtrirte ich ab, neutralisirte mit Soda und setzte darin 100 g Leim einer 24stündigen Verdauung aus. Schon lange vor Ablauf der 24 Stunden war aller Leim verdaut; dabei blieb aber auch hier ein flockiger Bodensatz zurück, welcher etwa 4,565 % des ganzen der Verdauung ausgesetzten Leimes ausmachte. Dieser Bodensatz wurde wiederholt im Filter gewaschen, dann sein chemisches Verhalten betreffend geprüft und endlich analysirt. In betreff des Verhaltens zu Reagentien entspricht dieser Niederschlag vollkommen dem Apoglutin und steht auch bezüglich des procentischen Gehaltes seiner Bestandtheile diesem Körper am nächsten; auffallend ist nur der geringe Nitrogen-Gehalt. Die Analyse dieses Apoglutin ergab nämlich folgende Resultate:

1. 0.2130 g Substanz gaben 0.2725 g Kohlensäure entspr. 0.07432 g Kohlenstoff = **84.89** % und 0.1145 g Wasser entspr. 0.012722 g Wasserstoff = **5.97** %.

2. 0.2415 g Substanz gaben 0.3100 g Kohlensäure entspr. 0.08454 g Kohlenstoff = **85** % und 0.1335 g Wasser entspr. 0.01483 g Wasserstoff = **6.14** %.

3. 0.3540 g Substanz ergaben **26.5** ccm Stickstoff, gemessen bei 17° C. und 732 mm Barometerstand, entspr. 0.02958 g Stickstoff = **8.35** %.

---

1) Zeitschrift f. Biologie. Bd. XIX. S. 196—198.

4. 0.205 g Substanz hinterliess 0.058 g Asche = 28.19 %. Die Asche enthielt zum grösstentheil Calciumphosphat.

Aschenfrei berechnet:

1. Kohlenstoff = 48.63 % Wasserstoff = 8.32 %.
2. „ = 49.59 % „ = 8.65 %.
3. Stickstoff = 11.65 %.

Mittelwerthe:

Kohlenstoff	= 49.11
Wasserstoff	= 8.48
Stickstoff	= 11.65
Sauerstoff und Schwefel	= 30.76
	100.—

Es scheidet sich demnach auch bei der Pankreasverdauung aus dem Leime, beztiglich wenn Glutose der Verdauung ausgesetzt war aus dieser, ein Körper aus, welcher sowohl in den Verdauungssäften wie auch im Wasser unlöslich ist.

Die abfiltrirte, den verdauten Leim enthaltende Verdauungsflüssigkeit setzte ich vor Allem der Siedhitze aus, in welcher sich ein aus Eiweiss bestehender flockiger Niederschlag bildete, der abfiltrirt wurde. Wie sehr die Flüssigkeit durch dies Vorgehen von Eiweiss gereinigt wurde, erhellt daraus, dass roher Pankreassaft mit Alkohol versetzt eine starke milchige Trübung giebt, aus welcher sich nur bald ein flockiger Niederschlag ausscheidet, während eine gleiche Menge gekochten und nach dem Kochen abfiltrirten Pankreassaftes mit gleichviel Alkohol nur schwach opalisirend getrübt wurde. Der Alkoholniederschlag des Pankreassaftes ist weiss, nicht klebrig und steigt, wenn geschüttelt, leicht in der Flüssigkeit auf.

Nachdem das den verdauten Leim enthaltende Filtrat abgekühlt war, wurde zu demselben ein Gemisch von Alkohol und Aether gegeben, worauf sich die ganze Flüssigkeit milchig trübte. Nach etwa 12 Stunden ruhigen Stehens war dieselbe wieder klar, während den Boden des Gefässes ein gelber, dickflüssiger, an Honig mahnend, ungemein klebriger Bodensatz bedeckte, welchen ich, seiner sogleich zu beschreibenden Eigenschaften wegen, Glutinopepton nennen möchte.

Dies Glutinopepton ist unlöslich in abs. Alkohol und Aether. Mit 95 procentigem Alkohol geschüttelt bildet dasselbe eine milchige Trübung, aus der sich das Glutinopepton wieder als dickflüssiger klebriger Bodensatz ausscheidet.

Auf dem Wasserbade und im Exsiccator getrocknet, bildet das Glutinpepton eine gelbe, bröcklige, in Wasser ungemein leicht lösliche Masse; unterscheidet sich also wesentlich von der schwer löslichen, hornartig festen, getrockneten Glutose.

Um das Glutinpepton von den während der Pankreasverdauung sich bildenden krystallinischen Verdauungsproducten zu trennen, setzte ich dasselbe, bei Zugabe von etwas Thymol, einer 4 Tage anhaltenden Dialyse aus. Das so möglichst gereinigte Glutinopepton zeigte folgende Reactionen:

1. Glutinopepton ist leicht löslich sowohl in kaltem wie auch in warmem Wasser, und scheidet sich nicht aus in Mineralsäuren, Essigsäure usd Alkalien.

2. Pikrinsäure erzeugt nur in concentrirten Lösungen Fällung, welche sowohl im Ueberschuss des Reagens, wie auch in der Hitze verschwindet.

3. Chromsäure und wässerige Lösung von Platinchlorid, welche die Glutose aus ihren Lösungen ausscheiden, erzeugen keine Fällung.

4. Tannin macht einen dicken Niederschlag, welcher sich in der Hitze zusammenballt und mehr weniger auflöst.

5. Phosphorwolframsäure und Salzsäure, Jodquecksilberjodkalium und Salzsäure, ferner Quecksilberchlorid geben Fällung, die in der Hitze verschwindet.

6. 95procentiger Alkohol erzeugt in verdünnter Lösung des Glutinospeptons Opalescenz, in concentrirten Lösungen milchige Trübung, welche bei Zugabe von Aether zunimmt. Aether allein macht keine Fällung.

7. Salpetersäure erzeugt weder Niederschlag noch Gelbfärbung; Salpetersäure und Natronlauge giebt gelbe Farbe.

8. Millon'sche Flüssigkeit erzeugt Trübung, welche sich im Ueberfluss des Reagens löst; beim Kochen tritt Rosafärbung ein.

9. Natronlauge und einige Tropfen stark verdünnte schwefelsaure Kupferoxydlösung geben die für Peptone charakteristische rosarothe Farbe.

10. Mit Rohrzucker und Schwefelsäure tritt braunrothe Färbung ein.

11. Salpetersaures Quecksilberoxydat wird reducirt.

12. Schwefelsaure Kupferoxydlösung giebt keinen Niederschlag und grüne Farbe.

13. Sättigung der Lösungen des Glutinopeptons mit Kochsalz fällt das Glutinopepton ganz aus; mit dem Filtrate giebt mit Essigsäure angesäuerte conc. Kochsalzlösung keinen Niederschlag mehr.

14. Ebenso scheidet sich das Glutinopepton aus mit schwefelsaurem Ammoniak gesättigten Lösungen aus. Dieser Niederschlag ist syrupartig dickflüssig, demnach wesentlich verschieden von jenem der Glutose. — Dass schwefelsaures Ammoniak das Glutinopepton aus seinen Lösungen vollständig fällt, dies beweist folgender Versuch: 10 g getrocknetes und im Wasser gelöstes Glutinopepton wurde durch schwefelsaures Ammoniak gefällt und in einem 3.218 g wiegenden Filter gesammelt. Nachdem der Niederschlag sammt Filter von dem anhaftenden schwefelsauren Ammoniak mit destillirtem Wasser dreimal rasch abgewaschen und der Filter sammt dem darin enthaltenen Glutinopepton getrocknet worden war, wog das Ganze 12.7 g, wovon also 3.218 g auf den Filter fallen. Der Gewichtsverlust der gefällten Substanz betrug demnach blos 0,518 g und war zum grössten Theil durch das Waschen verursacht, da sich ja auch das Glutinopepton leicht im Wasser löst. Ein Theil des Verlustes stammt aber gewiss auch daher, dass aus dem Eiweiss des Pankreas stammendes Pepton zugegen war, welches, wie Kühne gezeigt, durch schwefelsaures Ammoniak nicht fällbar ist; denn das mit schwefelsaurem Ammoniak gesättigte Filtrat gab die Biuretreaction der Peptone. Olgleich also nach diesem Versuche das Glutinopepton gewiss sehr wenig andere Körper enthielt, konnte dasselbe demnach nicht als reine Substanz betrachtet werden. Dies ergaben auch die Resultate der folgenden Analysen:

1. 0.3285 g Substanz gaben 0.5045 g Kohlensäure entspr. 0.1376 g Kohlenstoff = **41.88** % und 0.2085 g Wasser entspr. 0.0023166 g Wasserstoff = **7.05** %.

2. 0.3205 g Substanz gaben 0.486 g Kohlensäure entspr. 0.1325454 g Kohlenstoff = **41.85** % und 0.1980 g Wasser entspr. 0.00220 g Wasserstoff = **6.86** %.

3. 0.2240 g Substanz ergaben 31.2 ccm Stickstoff, gemessen bei 18° C. und 728 mm Barometerstand, entspr. 0.03449 g Stickstoff = **15.89** %.

4. 0.045 g Substanz hinterliess 0.0065 g Asche = **8.17** %.

Aschenfrei berechnet:

1. Kohlenstoff = 43.25 % Wasserstoff = 7.28 %.
2. " = 42.66 % " = 7.08 %.
3. Stickstoff = 15.89 %.

Mittelwerthe:

Kohlenstoff	=	42.95
Wasserstoff	=	7.18
Stickstoff	=	15.89
Sauerstoff und Schwefel	=	33.98
		100.00.

Es würde also das Glutinopepton dieser Analyse gemäss mehr Kohlenstoff, Stickstoff und Wasserstoff enthalten als der Leim, was nach den bei der Verdauung der Eiweisse gemachten Erfahrungen unmöglich ist und nach dem oben Gesagten nur eine Folge der Verunreinigung besonders durch Eiweisspepton sein kann.

Von der Erfahrung ausgehend, dass Glutinopepton mit Quecksilberchlorid eine in der Siedhitze lösliche Fällung giebt, während der gleiche Niederschlag von Eiweisspepton und Albumose in der Hitze unlöslich ist, hoffte ich, zur Zeit als ich meine vorläufige Mittheilung[1]) machte, das Glutinopepton durch Quecksilberchlorid rein zu gewinnen. Zur Glutinopeptonlösung wurde demnach in Alkohol gelöstes chemisch reines Quecksilberchlorid gegeben, worauf sich ein klebriger Niederschlag bildete, welcher sich, im Wasser gekocht, zum grössten Theil wieder löste. Doch, während der nöthigen weiteren Behandlung der heiss filtrirten Lösung, zerfiel ein grosser Theil des Glutinopeptons in Glycin und Leucin, wie dies das Mikroskop, der charakteristische Geruch und schliesslich die durchgeführte Analyse zeigten. Es gelang also auch auf diese Weise nicht, das Glutinopepton ganz rein, frei von Eiweisspepton, zu gewinnen.

Schliesslich will ich noch bemerken, dass Magensaft, den ich aus der Schleimhaut des Hundemagens bereitete, binnen 8 Tagen den Leim nicht nur in Glutose, sondern zum Theil auch in Glutinopepton verwandelte. Dies folgt daraus, dass der durch Alkohol und Aether erhaltene Niederschlag in Wasser gelöst, durch Platinchlorid und Chromsäure kaum gefällt und durch schwefelsaures Kupferoxyd grünlichblau gefärbt wurde. Magensaft, aus der

1) Centralblatt für Physiologie. 1890. Heft 7.

Schleimhaut des Schweinemagens erzeugt, wirkte viel weniger, selbst nach 12 tägiger Verdauung war grösstentheils nur Glutose vorhanden.

Aus Glutin wird also unter dem Einflusse des Magensaftes Glutose, ein den Albumosen ähnlicher Körper und zwar dadurch, dass sich von dem Glutin ein in Wasser und den Verdauungssäften unlöslicher Körper, das Apoglutin abspaltet. Aus der Glutose, wie auch aus, dem Pankreassaft direct ausgesetztem Leime wird durch Bauchspeichel, unter weiterem Ausscheiden von Apoglutin, Glutinopepton. Der Magensaft pflanzenfressender Thiere verdaut keinen Leim, während der Bauchspeichel derselben eben so verdauend wirkt wie jener der Omnivoren und Fleischfresser. Magensaft vom Menschen wandelt den Leim bereits binnen 3—6 Stunden in Glutose und Pankreassaft in ebenso kurzer Zeit in Glutinopepton um; dies dürfte daher auch der normale Verlauf der Leimverdauung sein.

Bereits an anderer Stelle war erwähnt, dass Hofmeister, um einen Einblick in den genetischen Zusammenhang und in die chemischen Eigenschaften des Collagen, des Glutin und des Leimpepton zu gewinnen, gereinigten Leim in Wasser 30 Stunden lang kochte. Die resultirte Flüssigkeit wurde von den beigemengten unlöslichen Substanzen (Apoglutin?) abfiltrirt, auf ein Drittel eingeengt, die noch vorhandene geringe Menge Eiweiss durch Kochen mit Bleioxyd und Behandeln des Filtrats mit Schwefelwasserstoff gereinigt. Aus der so erhaltenen, eingeengten syrupösen Flüssigkeit konnten durch Platinchlorid zwei Substanzen dargestellt werden. Die eine, das Semiglutin, war durch Platinchlorid fällbar, in 70—80 proc. Alkohol unlöslich, die andere, das Hemicollin, konnte durch Platinchlorid nicht gefällt werden und war in Alkohol leichter löslich, also durch Alkohol schwieriger fällbar. Wie man sieht, scheint das Semiglutin unserer Glutose, das Hemicollin dem Glutinopepton zu entsprechen: Auch Glutose giebt auf Platinchlorid eine Fällung und wird durch Alkohol leichter niedergeschlagen als das Glutinopepton, das durch Platinchlorid nicht fällbar ist. Semiglutin und Glutose stimmen auch darin überein, dass beide Körper durch Pikrinsäure Niederschläge geben, welche in der Siedhitze verschwinden, wie auch darin, dass Natronlauge und

schwefelsaures Kupferoxyd eine schön purpurrothe, auf mehr schwefelsaures Kupferoxyd violette Färbung zeigen.

Die Uebereinstimmung in den Reactionen des Semiglutins und der Glutose einerseits, des Hemicollins und des Glutinopeptons andererseits ist demnach eine so grosse, dass ich nicht anstehen würde diese Körper für identisch zu halten, wenn die Färbung durch schwefelsaures Kupferoxyd nicht eben eine umgekehrte wäre: während nämlich bei Hofmeister schwefelsaures Kupferoxyd das Semiglutin grün und das Hemicollin blau färbte, fand ich die Glutose blau und das Glutinopepton grün gefärbt.

4. Das Schicksal der Verdauungsproducte des Leimes im Körper.

Zahlreiche Beobachtungen von Voit und Bischoff[1]) sowie von Voit[2]) allein, haben gelehrt, dass der Leim die Eiweisse nicht ersetzt, wohl aber im Stande ist, dieselben durch seine Zersetzung zu ersparen. Auch Lehmann[3]) fand, dass, ausschliesslich mit Leim und Tyrosin genährte Ratten binnen 47—90 Tagen zu Grunde gehen. Dass hier nicht die Entziehung der übrigen Nahrungsmittel die Todesursache war, dass Thiere, denen man alle nöthigen Nahrungsmittel in genügender Menge giebt, statt des Eiweisses aber Leim verabreicht, sich nicht entwickeln, überhaupt nicht leben können, dies lehren, in Uebereinstimmung mit den Ergebnissen, zu denen Voit durch seine relativ kurz dauernden und direkt auf den Stoffwechsel gerichteten Untersuchungen gelangte, in dem Folgenden mitzutheilenden Versuche. Zu denselben dienten zwei 7 Wochen alte Hunde, die Geschwister waren; der eine hatte schwarze, der andere weisse Farbe. Der schwarze Hund wog vor Beginn des Versuches 3973, der weisse 3617 g. Beide Hunde nährten wir vorerst 6 Tage lang mit Milch und Semmel, wobei sich ergab, dass der schwarze Hund täglich 89 g Eiweiss, 66 g Fett, 75 g Kohlenhydrate, 8.5 g Salze und eine unbekannte Menge Wasser verzehrte; dabei nahm das Körper-

1) Bischoff und Voit, Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers. Leipzig und Heidelberg 1860. S. 215—241.

2) Zeitschrift f. Biologie. Bd. VIII S. 313—387.

3) Sitzungsberichte der Gesellschaft für Morphologie und Physiologie in München. 1885. Bd. I. Heft I. S. 44.

gewicht des Hundes täglich im Mittel um 109 g zu. Der weisse Hund verzehrte pro Tag, ausser Wasser, 69 g Eiweiss, 52,15 g Fett, 76.34 g Kohlenhydrate und 6.6 g Salze; das Körpergewicht stieg täglich im Mittel um 110 g. Gewogen wurden die Hunde am Morgen vor der Nahrungsaufnahme und nachdem ihnen die letzte Nahrung am vorangegangenen Tage, Nachmittags 5 Uhr, verabreicht worden war.

Den gemachten Erfahrungen entsprechend, bereiteten wir für den schwarzen Hund ein Nahrungsmittel, welches aus 84 g gewaschener feiner Gelatine, 66 g Fett, 75 g Traubenzucker, 8.5 g Salzen bestand; unter den Salzen befanden sich 1.91 g Kochsalz, 1.23 g Chlorkalium, 1.82 g schwefelsaures Kalium, 3.29 g phosphorsaurer Kalk und 0.25 g schwefelsaure Magnesia. Das Ganze wurde Anfangs in 1 l, später in weniger Wasser zu einem Brei aufgelöst. Der Versuch dauerte 14 Tage, während welchen der als Controllthier dienende weisse Hund nur Milch bekam. Folgende Tabelle zeigt die Resultate dieser Versuche:

Tag des Versuches	Schwarzer Hund			Weisser Hund	
	Nahrung	Körpergewicht in g	Bemerkungen	Nahrung	Körpergewicht in g
1.	84 g Leim 66 „ Fett 75 „ Zucker 8.5 „ Salze 1 Lit. Wasser	4910	Isst mit sichtlich gutem Appetit	800 ccm Milch	4340
2.	„	4840	„	1000 ccm Milch	4440
3.	„	4810	Wiederholtes Erbrechen und Ekel	1200 ccm Milch	4540
4.	„	4780	Niedergeschlagenheit und Ekel	1300 ccm Milch	4550
5.	„	4770	Der Hund rührt die Nahrung nicht an, dieselbe wird gelöst in den Magen eingegeben	1000 ccm Milch	4660
6.	„	4730	Das Thier isst freiwillig, kein Erbrechen	1200 ccm Milch	4727
7.	„	4703	Wiederholtes Erbrechen	400 ccm Milch	4855
8.	Nahrung wie oben, doch nur 0.5 Lit. Wasser	4665	Kein Erbrechen	1000 ccm Milch	4790

Tag des Versuches	Schwarzer Hund			Weisser Hund	
	Nahrung	Körpergewicht in g	Bemerkungen	Nahrung	Körpergewicht in g
9.	Nahrung wie oben, doch nur 0.5 Lit. Wasser	4688	Appetitlosigkeit. Wird künstlich gefüttert	1000 ccm Milch	4922
10.	Wie oben, 700 ccm Wasser	4611	"	1250 ccm Milch	5193
11.	"	4535	Oefteres Erbrechen	1050 ccm Milch	5295
12.	"	4460	"	1500 ccm Milch	5110
13.	"	4372	Erbrechen. Der Hund wird auffallend schwach	1000 ccm Milch	4977
14.	"	4297	Allgemeine Schwäche, das Thier liegt beständig	1200 ccm Milch	5199

Der schwarze Hund nahm also während dieser Versuche um 613, täglich durchschnittlich um 43,7 g ab, während das mit Milch gefütterte Controllthier in derselben Zeit 859 g an Körpergewicht zugenommen hatte.

Da das Thier während der Versuche einen starken Widerwillen gegen die Nahrung verrieth, machten wir noch einen zweiten Versuch, während welchem das Thier statt des französischen Gelatins aus Kalbsfüssen ausgekochte Gallerte erhielt. Der Versuch dauerte 21 Tage, Versuchsthier war der weisse Hund; der als Controllthier dienende schwarze Hund bekam Fleisch. Die Gallerte wurde aus gereinigten Kalbsfüssen durch 7 Stunden anhaltendes Kochen gewonnen. Dabei schied sich das Eiweiss wohl zum grössten Theile aus, ein geringer Theil blieb aber im Leim gelöst zurück. Der Gehalt an Leim war aus dem Trockengewicht des Gallertextractes nach Abzug der Asche berechnet. In diese heiss filtrirte Gallerte wurden Fett, Kohlenhydrate und Salze, in bestimmtem Gewichtsverhältnisse gemischt und gelatiniren gelassen. Von dieser Gallerte erhielt der Hund täglich soviel, dass in der verabreichten Menge 85 g Leim, 76 g Traubenzucker, 50 g Fett und 8,5 g Salze enthalten waren.

Diese Nahrung verzehrte das Versuchsthier in den ersten drei Tagen mit wahrer Gier, am vierten Tage aber trat schon ein

solcher Ekel ein, dass der Hund nur mehr nur künstlich gefüttert werden konnte. Vom zehnten Tage an steigerten wir die Nahrung, der Hund bekam 100 g Leim, 90 g Zucker und 59 g Fett, doch kehrten wir vom 15. Tage an wieder zur früheren Gabe zurück.

Die während dieses Versuches erfolgte Aenderung im Körpergewichte der Thiere zeigt folgende Tabelle an, betreff welcher ich nur noch bemerken will, dass der weisse Hund am zweiten Tage des Versuchs von dem erhaltenen Fleische 40 g nicht genossen hatte, wie auch, dass das eigentliche Versuchsthier, der schwarze Hund, an demselben Tage sich öfter erbrach.

Tag des Versuches	Weisser Hund		Schwarzer Hund	
	Nahrung	Körpergewicht in g	Nahrung	Körpergewicht in g
1.	85 g Leim 50 „ Fett 75 „ Traubenzucker 8.5 „ Salze	5030	600 g Fleisch	4405
2.	„	5125	600 „ „	4575
3.	„	5005	700 „ „	4772
4.	„	4975	700 „ „	5050
5.	„	5230	600 „ „	5135
6.	„	5107	500 „ „	5317
7.	„	5073	500 „ „	5445
8.	„	5105	500 „ „	5430
9.	„	5127	600 „ „	5580
10.	100 g Leim 59 „ Fett 90 „ Leim und Salze	5100	850 „ „	5560
11.	„	5072	700 „ „	5895
12.	„	5155	700 „ „	5910
13.	„	4940	700 „ „	6015
14.	„	5050	700 „ „	6135
15.	„	5100	700 „ „	6290
16.	85 g Leim 50 „ Fett 70 „ Traubenzucker 8.5 „ Salze	5025	700 „ „	6580
17.	„	4887	900 „ „	6457
18.	„	4960	900 „ „	6735
19.	„	4893	1100 „ „	6705
20.	„	5007	1000 „ „	7135
21.	„	4959	1000 „ „	6950

Auch hier ergab sich also eine Abnahme des Körpergewichts des mit Leim gefütterten Thieres, wenn auch nicht in so auffallendem Maasse, wie während der Fütterung mit französischer Gelatine; während der mit Fleisch gefütterte Hund 2545 g an Gewicht zunahm, verlor der mit Leim gefütterte im Ganzen 80 g, täglich also 4 g. Die Ursache der diesmal etwas besseren Ernährung des mit Leim gefütterten Hundes als in dem ersten Versuche, stammt von dem Eiweiss her, dass dem Leime in geringer Menge beigemengt ward.

Dass die Ursache der schlechten Ernährung in der That der Mangel an Eiweiss war, beweist der folgende Versuch, bei welchem der Hund mit ganz derselben Nahrung gefüttert wurde, wie in den früheren Versuchen, nur mit dem Unterschiede, dass dieselbe statt des Leimes Fibrin enthielt.

Tag des Versuches	Nahrung	Körpergewicht in g	Tag des Versuches	Nahrung	Körpergewicht in g
1.	100 g Fibrin 59 „ Fett 90 „ Traubenzucker	6910	7.	100 g Fibrin 59 „ Fett 90 „ Traubenzucker	7335
2.	„	6956	8.	„	7420
3.	„	7006	9.	„	7450
4.	150 g Fibrin 89 „ Fett 135 „ Traubenzucker	7005	10.	„	7200
			11.	„	7435
			12.	„	7430
			13.	„	7425
5.	200 g Fibrin 118 „ Fett 180 „ Traubenzucker	7225	14.	„	7510
			15.	„	7595
			16.	„	7505
			17.	„	7527
6.	100 g Fibrin 59 „ Fett 90 „ Traubenzucker	7687	18.	„	7560
			19.	„	7595
			20.	„	7627

Der Hund frass während der 20 Tage mit sichtlichem Appetit, nahm im Ganzen um 717, täglich um 35.8 g zu. Was Voit durch die Beobachtung des Stoffwechsels nachgewiesen, unterliegt also keinem möglichen Zweifel: Leim kann das Eiweiss ebenso wenig ersetzen wie Fett oder Kohlenhydrate. Auch lehren die Versuche am Thiere und die Erfahrung am Menschen, dass der Leim längere

Zeit und in so grosser Menge als derselbe aufgenommen werden müsste, um das Nitrogen des nöthigen Eiweisses zu ersetzen, überhaupt nicht genossen werden kann, weil sich unüberwindlicher Widerwille, Ekel und heftiges Erbrechen einstellen. Dass jedoch der genossene Leim resorbirt wird, dies beweist der Koth mit Leim gefütterter Thiere, ferner die von Voit nachgewiesene gesteigerte Harnstoffausscheidung bei Genuss von Leim, welche so bedeutend ist, dass sie unmöglich blos eine Folge der in den Drüsen während der Secretion ablaufenden Zersetzung sein kann, wie auch schliesslich der Umstand, dass mit Leim gefütterte Thiere weniger Eiweiss zersetzen (Voit). Was wird also aus dem verzehrten und resorbirten Leim in dem thierischen Organismus?

Chevreul und de Bary haben bei 100° C. getrocknete leimgebende Substanz durch kochendes Wasser in das gleiche Gewicht Leim umgewandelt. Die Analysen von Leim und Collagen ergaben eine sehr ähnliche, wenn nicht gleiche procentische Zusammensetzung beider Körper. Schliesslich fand Hofmeister auch, dass Glutin bei 130° C. anhaltend getrocknet seine Löslichkeit im Wasser verliert und in eine Substanz übergeht, welche sich wie Collagen verhält; diese collagenähnliche Substanz wird durch zweistündiges Erhitzen mit Wasser im zugeschmolzenen Rohre bei 120° C. wieder in Leim zurückverwandelt. Aus der Leichtigkeit, mit der das Glutin in Collagen übergeht, wäre es nach Hofmeister möglich, dass unter Umständen auch im Organismus der Leim zu Collagen werde und auf diese Weise Eiweiss erspare.

Um in das Schicksal des Leimes und seiner Verdauungsproducte im Organismus näheren Einblick zu gewinnen, machte ich an Hunden und Kaninchen folgende Versuche:

Einem 7200 g wiegenden Hunde wurden 72 ccm einer 7,2 g Leim enthaltenden 0.5 procentigen Kochsalzlösung bei 38° C. in die v. jugularis injicirt. — Die Blutmenge des Thieres, zu $^1/_{13}$ des Körpergewichtes berechnet, betrug 564 g; in diesem Blute befand sich also 1.2% Leim. Da sich in dem Körper des Thieres ausser dem Blute auch intercelluläre Flüssigkeit befand, so kann die eingeführte Leimmenge eben nicht als gross bezeichnet werden. — Eine Stunde nach der Injektion wurde das Blut der A. carotis in ein Gefäss, welches reine Salpetersäure enthielt, aufgefangen, die Flüssigkeit gut durchgemischt und filtrirt. Das wasserklare Fil-

trat coagulirte nicht in der Hitze, gab aber die Biuretprobe und mit Pikrinsäure Trübung, welche in der Hitze verschwand, nach dem Abkühlen aber von neuem auftrat. Der filtrirte Harn des Hundes gab auch dieselbe Reaction wie das Blut; auf Salpetersäure keine Trübung oder Gelbfärbung. Harn und Blut enthielten also Leim.

Einen ähnlichen Versuch machte ich auch mit einem 1421 g wiegenden Kaninchen. In die V. jugularis wurden 14 ccm einer 10 % Leim enthaltenden 0,5 %igen Chlornatriumlösung von 38 ° C. injicirt. Nach einer Stunde konnte sowohl in dem Blute wie auch im Harn Glutin nachgewiesen werden. Bemerken will ich, dass hier das mit Salpetersäure behandelte und filtrirte Blut in der Hitze sich trübte; ich kochte daher das Filtrat, filtrirte von neuem und wies in diesem Filtrat den Leim nach. Dass mein Vorgehen, den Nachweis des Leimes betreffend, gut gewählt war, erhellte aus Versuchen, die ich mit glutinfreiem Blute und Harn, sowie mit solchen, denen Leim zugegeben war, gemacht.

Aus diesen Erfahrungen folgt, dass der Organismus den in das Blut injicirten Leim nicht benutzt, sondern durch die Nieren mit dem Urin ausscheidet.

Ferner machte ich auch solche Versuche, bei denen ich den Leim in den Darm der Thiere direkt einführte. So erhielt ein Hund von 6520 g Körpergewicht 150 ccm 10 prozentiger Leimlösung bei 38 ° C. durch den Mastdarm eingeführt. Einem Kaninchen von 1270 g Gewicht gab ich 50 g derselben Leimlösung direct in den zu diesem Zweck geöffneten Dünndarm. Bei der vier Stunden nach der Injection erfolgten Untersuchung konnte weder im Blute noch im Harn Leim nachgewiesen werden.

Ganz dieselben Versuche machte ich auch mit Glutose und Glutinopepton und auch diese mit ganz demselben Erfolg: Die in den Kreislauf direkt eingeführten Substanzen konnten eine Stunde nach der Injection sowohl im Blute als auch im Harn nachgewiesen werden, während von den in den Darm eingeführten Substanzen weder im Blute noch im Harn irgend welche Spur nachzuweisen war.

Es gelangt also weder der Leim noch die Glutose und das Glutinopepton durch die Resorption in die Blutflüssigkeit, direkt in das Blut eingeführt werden dieselben wenigstens vom Organismus nicht aufgebraucht, sondern von den Nieren ausgeschieden.

Da Glutose und Glutinopepton in dem von mir untersuchten Blut der A. carotis nicht nachzuweisen war und da nach einer derzeit geltenden Anschauung die resorbirten Eiweissmolecüle schon in der Leber in einen stickstofffreien und einen stickstoffhaltigen Bestandtheil zerspalten (Fick), da ferner von Cl. Bernard nachgewiesen wurde, dass Leimfütterung die Plycogenbildung vermehrt, so lag auch die Annahme nahe, dass die resorbirten Verdauungsproducte des Leimes bereits in der Leber zerfallen. Ich entnahm daher einem mit Leim reichlich genährten Hunde drei und eine halbe Stunde nach der letzten Nahrungsaufnahme Blut aus der V. hepatica und aus der V. porta, konnte jedoch in dem Blute keines der beiden Gefässe Leim oder dessen Verdauungsproducte nachweisen. — Die resorbirten Verdauungsproducte des Glutins müssen demnach schon während der Resorption, oder wenigstens in der Darmwand, eine Aenderung erleiden der zu Folge sie nicht nachgewiesen werden können. Wir stehen also hier ganz denselben Erscheinungen gegenüber, welche die Peptone betreffend Schmidt-Mülheim und Hofmeister[1]), die Albumosen betreffend Neumeister[2]) nachgewiesen haben. Schmidt-Mülheim hat zugleich, durch Unterbindung des Duct. thoracicus gezeigt, dass die Umwandlung der Peptone in Eiweiss nicht in den Chyluswegen geschieht.

Hofmeister fand das adenoide Gewebe der Darmschleimhaut während der Resorption von Leukocyten strotzend erfüllt, während dasselbe bei nüchternen und hungernden Thieren nur mässig Lymphzellen enthält. Da, wie Hofmeister gezeigt, lebende Eiterzellen und somit auch Leukocyten, Peptone zu binden vermögen, so folgt, dass das resorbirte Pepton in der Darmschleimhaut vor seinem Uebertritt in den Säftestrom von den Lymphzellen festgehalten wird und durch diese mit den Blutstrom fortgeführt durch die Nieren nicht ausgeschieden werden kann. Nach Hofmeisters Erfahrungen fällt den Leukocyten bei der Ernährung mit Eiweiss eine ähnliche Rolle zu, wie den rothen Blutkörperchen bei der Athmung.

Dass es mit den Verdauungsproducten des Leimes dieselbe Bewandtniss hat, dies beweisen Beobachtungen, welche J. Pohl[3])

1) Zeitschrift f. physiol. Chemie. Bd. V. S. 127.

2) Zeitschrift f. Biologie. Bd. XXIV. S. 272.

3) Archiv f. exp. Pathologie und Pharmakologie. Bd. 25. S. 39.

im Institute von Hofmeister gemacht. Dieser Forscher untersuchte nämlich die Zahl der Leukocyten im Blute nüchterner wie mit verschiedenen Nahrungsmitteln gefütterter Thiere und fand dieselbe bei der Ernährung mit Leim im grössten Maasse vermehrt. Während nämlich die Zahl der Leukocyten vor der Nahrungsaufnahme in 1 cmm Blut 11319 betrug, stieg dieselbe eine Stunde nach der Leimfütterung auf 26866 und betrug 5 Stunden nachher noch immer 20,912.

Das Schicksal der durch die Leukocyten aufgenommenen Verdauungsproducte des Leimes betreffend, lag am nächsten eine Umwandlung derselben in Eiweiss in den Zellen anzunehmen. W. Michailow und C. Chopin[1]) gelang es wohl aus Eiweissen, denen sie Ammoniak zugaben, durch Kochen Leim darzustellen; A. Danilewsky[2]) bereitete aus Eiweiss und fettfreiem Casein einen dem Chondrin nahe verwandten Körper, welchen er Chondronoid und aus Muskelsyntonin einen dem Glutin ähnlichen Körper, den er Glutinoid nannte. Doch diese Beobachtungen zeigen nur, dass der Leim als ein Product der beginnenden Spaltung und Oxydation der Eiweisskörper aus Eiweiss stammt; es gelang nicht durch Synthese Leim in Eiweiss zurück umzuwandeln. Nachdem sich Leim vom Eiweiss wesentlich darin unterscheidet, dass in dem Leim das bei der Zersetzung der Eiweisskörper sich bildende kohlenstoffreiche Tyrosin und ähnliche Stoffe fehlen, so hielt Hermann die Bildung von Eiweiss aus Leim unter der Aufnahme von Tyrosin für möglich. Versuche von Escher schienen in der That dieser Vermuthung das Wort zu reden, stets nahm bei Leim- und Tyrosinfütterung das Körpergewicht des Versuchsthieres zu oder doch weniger ab als bei einer ähnlichen Versuchsreihe ohne Tyrosin. Doch Versuche von K. B. Lehmann[3]) haben gezeigt, dass wenigstens Ratten keine Eiweisssynthese aus Leim und Tyrosin auszuführen vermögen.

Da eine Ueberführung des Leimes in Eiweiss nur auf dem Wege der Synthese möglich ist, ähnliche Vorgänge aber im thierischen Organismus bis jetzt nicht beobachtet wurden, so ist dieselbe auch höchst unwahrscheinlich. Dem entsprechen auch die

---

1) Hoffmann und Schwalbe, Jahresberichte etc. 1886. S. 245–246.

2) Centralblatt f. d. medic. Wissenschaften. 1881. S. 481 - 486.

3) A. a. O. S. 44.

Resultate der zahlreichen Versuche von Voit, so wie die oben mitgetheilten Fütterungsversuche.

Wenn aber die Verdauungsproducte des Leimes nicht zu Eiweiss werden, so bleibt nur die Annahme übrig, dass die Leukocyten dieselben als Wanderzellen im unveränderten Zustande oder, was wahrscheinlicher, bereits in Leim oder Collagen umgewandelt in das Bindegewebe befördern.

Möglich wäre wohl auch die Annahme noch, dass die resorbirten Stoffe im Organismus, vielleicht bereits in den Leukocyten, weiter zerfallen und deren Zersetzungsproducte einfach durch die Nieren ausgeschieden werden. Doch diese Annahme ist nicht nur an sich höchst unwahrscheinlich, sondern wäre auch eine, jeder anderen den Stoffwechsel betreffenden Erfahrung widersprechende Anordnung im Haushalte des thierischen Organismus.

Wie Voit, in jeden Zweifel ausschliessender Weise, bewiesen, erspart Leim dem Körper Eiweiss, und dies in grösserem Maasse als die Fette oder Kohlenhydrate. Für die Aufbewahrung dieser letzteren aber ist, wie bekannt, im Organismus gesorgt, es ist daher mit grösster Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass das Bindegewebe eine ähnliche Aufbewahrungsstätte des Leimes bezüglich des Collagen ist, wie das Fettgewebe eine solche für das Fett, die Leber für die Kohlenhydrate ist.

(Aus dem chemischen Laboratorium des pathologischen Instituts zu Berlin.)

Ueber das Harnack'sche aschenfreie Albumin.

Von

Dr. **Br. Werigo.**

Die Frage über das sogenannte aschenfreie Albumin, obgleich in der physiologischen Literatur vielfach discutirt, bleibt bekanntlich bis jetzt unentschieden: die Substanz, welche einige Autoren (Aronstein[1]), Alexander Schmidt[2])) vermittelst der Dialyse der albuminhaltigen Flüssigkeiten dargestellt haben und als aschenfreies Albumin betrachteten, erwies sich nach den anderen Untersuchungen (Heynsius[3]), Winogradoff[4])) als nicht aschenfrei. Ferner wurden die eigenthümlichen Eigenschaften dieses jedenfalls aschenarmen Eiweisses (Uncoagulirbarkeit in der Siedhitze, Löslichkeit im Wasser u. s. f.) aus dem Alkaligehalt der betreffenden Flüssigkeiten erklärt. In der allerneuesten Zeit hat Harnack[5]) diese Frage wiederum angeregt und behauptet, es sei ihm gelun-

1) Aronstein: Ueber die Darstellung salzfreier Albuminlösungen vermittelst der Diffusion. Pflüger's Arch. VIII. S. 75—93.

2) Alexander Schmidt: 1) Untersuchung des Eiereiweisses und Blutserums durch Dialyse. Beiträge d. Anat. u. Physiol. als Festgabe Karl Ludwig gewidmet. Leipzig 1874. S. XCIV—CXV; 2) Weitere Untersuch. d. Blutserums, des Eiereiweisses und der Milch durch Dialyse. Pflüger's Arch. XI. S. 1—52.

3) Heynsius: 1) Ueber die Eiweissverbindungen des Blutserums und des Hühnereiweisses. Pflüger's Arch. IX. S. 514—552; 2) Ueber das Albumin und seine Verbindungen. Pflüger's Arch. XI. S. 624—626 und XII. S. 549—596.

4) Winogradoff: Darstellung und Eigenschaften salzfreier Eiweisslösungen. Pflüger's Arch. XI. S. 605—610.

5) Harnack: Ueber die Darstellung u. d. Eigenschaften aschenfreien Albumins. Berichte d. deutschen chemischen Gesellsch. XXII. 1889. S. 3046—3052.

resp. Alkalialbuminaten nahe gestellt werden muss.

Dieses Resultat lässt uns begreifen, warum die Eigenschaften der von Harnack dargestellten Substanz mit den früher von Aronstein angegebenen Eigenschaften seines aschenfreien Albumins fast vollkommen übereinstimmen: der eine hat es mit saurer, der andere mit alkalischer Lösung zwei sehr nahe verwandter oder sogar einer und derselben Substanz zu thun gehabt. Nur im Verhalten des vermeintlich aschenfreien Albumins zu den Lösungen von neutralen Salzen zeigt sich nach Angaben beider Autoren ein kleiner Widerspruch, der übrigens auch sehr leicht gehoben werden kann.

Harnack giebt nämlich an, dass die wässrige Lösung seiner Substanz durch neutrale Salze ohne irgend welche Veränderung ausgefällt wird. Die Abwesenheit solcher Veränderungen wird dadurch bewiesen, dass die durch Salze ausgefällte Substanz nach dem Auswaschen wiederum ihre ursprünglichen Eigenschaften aufweist. Wenn man aber diese ausgefällte Substanz in der zur Ausfällung benutzten Salzlösung kocht, so verwandelt sie sich allmälig in eine nicht mehr in Wasser lösliche Modification: das Eiweiss wird in einen geronnenen Zustand übergeführt. Nach Aronstein und Schmidt wird ihre Substanz im Gegentheil durch neutrale Salze nicht gefällt, sondern gewinnt dadurch nur die Fähigkeit wieder beim Kochen zu coaguliren.

Die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens liegt nur darin, dass Harnack mit einer sauren und Aronstein mit einer alkalischen Lösung arbeitete: es erweist sich in der That, dass die Harnack'sche Substanz, wenn man sie durch Neutralisation mit Alkali fällt und in kleiner Menge von überschüssigem Alkali löst, durch neutrale Salzlösungen gleichfalls nicht mehr gefällt wird[1]. Wenn man aber solche salzhaltige Lösung bis zum Kochen erwärmt, so geht das Eiweiss in eine coagulirte Modification über und scheidet sich vollständig aus.

Es kann nun die Frage entstehen, wie die von Harnack angegebene Darstellungsweise die Umwandlung von Albumin in

1) Solches Verhalten der sauren und alkalischen Lösung von Acid- resp. Alkalialbuminat zu den neutralen Salzlösungen ist schon längst bekannt. (Soyka, Pflüger's Arch. XII. S. 364.)

Albuminat herbeiführt. A priori sind in dieser Besiehung nur zwei Voraussetzungen möglich. Diese Umwandlung geschieht entweder schon bei Ausfällung der Eiweisslösung durch Kupfersalz, oder erst bei der nachfolgenden Wirkung der Reagentien auf Kupfereiweissverbindung.

Obgleich beim ersten Blicke die zweite Voraussetzung als viel wahrscheinlicher erscheint, da die Reagentien, welche auf Kupfereiweissverbindung wirken (Alkali und Säure) unzweifelhaft fähig sind, die in Rede stehende Umwandlung herbeizuführen, muss ich doch schon hier hervorheben, dass die Resultate meiner Untersuchung eher für die erste Voraussetzung sprechen. Deshalb halte ich es für wahrscheinlich, dass die Harnack'sche Kupfereiweissverbindung ein Analogon zu der als Alkalialbuminat bezeichneten Verbindung des Eiweisses mit Alkali darstellt: dasselbe Verhältniss zu dem Eiweissmoleküle, welches in der einen Verbindung das Alkali behauptet, wird in der anderen durch Kupfer vertreten. Von diesem Standpunkte aus wäre die Fällung des Eiweisses durch Kupfersalz (wahrscheinlich auch durch Salze anderer schwerer Metalle) analog der Wirkung des Alkalis: der einzige Unterschied bestände nur darin, dass in einem Falle eine lösliche, in dem anderen aber eine im Wasser unlösliche Verbindung entsteht. Diese Unlöslichkeit der Kupfereiweissverbindung könnte auch die Ursache sein, dass diese Verbindung so leicht entsteht, während wir, um durch die Wirkung von Alkali Alkalialbuminat zu erhalten, noch zu einer hohen Temperatur Zuflucht nehmen müssen. Auf solche Weise hat Harnack, meiner Meinung nach, vollkommen Recht, wenn er seine Substanz als schon in der Kupfereiweissverbindung präformirt ansieht; er hat nur Unrecht, wenn er sie als reines Albumin betrachtet.

Nachdem ich also den Standpunkt, von welchem ich das Verhältniss der Harnack'schen Substanz zu der Kupfereiweissverbindung betrachte, auseinandergesetzt habe, gehe ich jetzt zu den Beweisen über, die mir zur Verfügung stehen.

Zu Gunsten meiner Auffassung spricht schon die von Harnack[1]) flüchtig erwähnte Thatsache, von deren Richtigkeit ich

1) Auf S. 3049 bemerkt Harnack, dass seine Substanz durch Salze der schweren Metalle ausgefällt wird.

mich selbst überzeugt habe, dass das vermeintliche Albumin unter der Wirkung der Lösung von $CuSO^4$ wiederum in die ursprüngliche Kupfereiweissverbindung übergeführt wird, was unmöglich wäre, wenn das Eiweiss beim Uebergange der Kupferverbindung in die Harnack'sche Substanz irgend welche tiefgreifende Veränderungen erlitten hätte [1]), Diese einzige Thatsache, wenn sie nur mit voller Sicherheit festgestellt werden könnte, würde schon genügen, um unsere Anschauung vollkommen zu rechtfertigen. Leider ist es aber sehr schwer unzweifelhaft zu beweisen, dass der bei Wirkung von $CuSO^4$ auf eine Lösung der Harnack'schen Substanz entstehende Niederschlag der ursprünglichen Kupfereiweissverbindung ganz identisch ist. Auf Grund des äusseren Aussehens und der Reaktionen (Löslichkeit in Säure und Alkali) ist die Uebereinstimmung eine vollkommene. Da aber die Identität solcher complicirter Körper sogar durch die Elementaranalyse sehr schwer festzustellen ist, so muss man bei Beurtheilung der Identität in unserem Falle sehr vorsichtig sein.

Einen weiteren Beweis zu Gunsten meiner Anschauung habe ich in der Art und Weise, nach welcher die Harnack'sche Substanz aus der Kupfereiweissverbindung entsteht, gefunden.

Schon auf Grund des früher Gesagten musste ich zu der Ueberzeugung kommen, dass die Harnack'sche Auffassung der Reaktion, vermittelst welcher er seine Substanz aus einer alkalischen Lösung der Kupfereiweissverbindung erhält, nicht ganz zutreffend ist. Wir haben nämlich gesehen, dass bei der genauen Neutralisation der alkalischen Lösung durch HCl sich nicht die Harnack'sche Substanz, sondern nur die ursprüngliche Kupfereiweissverbindung absetzt: um die Harnack'sche Substanz zu erhalten, muss man nothwendiger Weise eine entschieden saure Lösung vor sich haben. Es ist augenscheinlich, dass hierbei von der zersetzenden Wirkung des Alkalis auf die Kupfereiweissver-

1) Um die Harnack'sche Substanz wieder in die ursprüngliche Kupfereiweissverbindung überzuführen, genügt es übrigens nicht, bloss die Lösung von $CuSO^4$ hinzuzufügen: man muss ausserdem die Säure durch Alkali etwas abstumpfen. Die Nothwendigkeit eines solchen Verfahrens ist begreiflich auf Grund der Thatsache, dass die Kupfereiweissverbindung in der Säure löslich ist, sie kann deshalb nur bei Neutralisation der Lösung im Niederschlage erhalten werden.

bindung keine Rede sein kann, wenigstens in der Form, wie es Harnack annimmt. Deshalb musste ich nach Ursachen suchen, die bei den von Harnack angegebenen Bedingungen die Zersetzung der Kupfereiweissverbindung bewirken.

Folgende Vorstellung, die sich auf die allgemeinen Gesetze der Chemie stützt, schien mir am natürlichsten zu sein. Wenn die Kupfereiweissverbindung in der That eine Verbindung von Kupfer mit der Harnack'schen Substanz darstellt, so muss die Wirkung irgend welcher tiefgreifenden Reagentien (z. B. des starken Alkalis bei dem Harnack'schen Verfahren) ganz überflüssig sein. Es muss nämlich genügen, solche Bedingungen herzustellen, bei denen die Harnack'sche Substanz unlöslich erscheint: dann muss dieselbe nach dem Gesetze der Dissociation ausgeschieden werden. Wir haben früher gesehen, dass die Harnack'sche Substanz in salzreicher saurer Lösung unlöslich ist. Eben mit solcher Lösung haben wir bei dem Harnack'schen Verfahren zu thun: die reichliche Menge von Alkali, die Harnack zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung benutzt, dient bei nachfolgender Neutralisation durch HCl zur Bildung einer reichlichen Menge von NaCl, und der Ueberschuss von Säure, der, wie früher bemerkt, in diesem Falle nothwendig ist, bewirkt eine saure Reaction der Flüssigkeit.

Solche Auffassung der in Rede stehenden Reaction kann sehr leicht experimentell geprüft werden.

Harnack hat gezeigt, dass die Kupfereiweissverbindung sich sehr leicht in verdünnter Salzsäure auflöst, ohne dabei irgend welche Veränderungen zu erleiden (bei der Neutralisation der Lösung scheidet sich wiederum die Kupfereiweissverbindung aus). Diese Eigenschaft benutzend, habe ich die Kupfereiweissverbindung in HCl (10 ccm officineller Salzsäure auf 1 Liter von destillirtem Wasser) gelöst und dann eine reichliche Menge von concentrirter NaCl-Lösung zugesetzt. Es erwies sich in der That, dass die Harnack'sche Substanz bei diesen Bedingungen ebenso gut und vollständig ausgeschieden wird, wie bei dem Harnack'schen Verfahren (es versteht sich von selbst, dass dabei alle Eigenschaften der erhaltenen Substanz auf das sorgfältigste durchgeprüft wurden) [1].

---

1) Die Richtigkeit dieser Auffassung habe ich noch auf eine andere

Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass unsere Auffassung der bei Ausscheidung der Harnack'schen Substanz vor sich gehenden Reaction ganz richtig ist: diese Substanz kann unzweifelhaft ohne irgend welche Wirkung des Alkalis erhalten werden. Da aber auch die Wirkung der Säure von ganz untergeordneter Bedeutung ist (sie dient nur dazu, um eine Flüssigkeit herzustellen, in der die Harnack'sche Substanz bei Anwesenheit der Salze unlöslich ist), so ist es kaum möglich, dieser Wirkung die Umwandlung von Albumin in Acidalbumin zuzuschreiben: solche Umwandlung geht, wie bekannt, nicht so leicht vor sich, besonders bei der Anwesenheit einer reichlichen Menge von Salzen, wie es bei uns der Fall ist. Folglich wird dadurch ein neuer Beweis dafür beigebracht, dass die Umwandlung des Albumins in die Harnack'sche Substanz schon bei der Bildung der Kupfereiweissverbindung vor sich geht.

Unsere Vermuthung, dass die Kupfereiweissverbindung dem Alkalialbuminat analog sei, würde noch mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn es gelungen wäre, zu zeigen, dass in dieser Verbindung Kupfer und Alkali einander vertreten können. Es gelang mir in der That, diesen weiteren Beweis beizubringen und zwar auf Grund der Versuche, bei denen ich die Löslichkeit der Kupfereiweissverbindung in Säure und Alkali genauer verfolgte.

Diese Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt.

Die nach Harnack'schen Vorschriften im reinen Zustande dargestellte Kupfereiweissverbindung wurde in einer Reibschale möglichst gleichmässig zerrieben. Von dem auf solche Weise erhaltenen Brei wurde eine genau gewogene Portion in einer Platinschale bis zum constanten Gewicht bei einer Temperatur von 120 ° C. im Luftbade getrocknet und zum zweiten Male gewogen. Andere ebenso genau gewogenen Portionen von demselben Brei (deren Gewicht im trockenen Zustande auf Grund der bei der ersten Portion erhaltenen Resultate berechnet wurde) wurden in

---

Weise geprüft. Die Harnack'sche Substanz ist nämlich unlöslich in verhältnissmässig concentrirten sauren Lösungen. Deshalb könnte man glauben, dass diese Substanz auch beim Hinzufügen von concentrirter HCl zu der sauren Lösung der Kupfereiweissverbindung ausgeschieden werden muss. Die Ausscheidung geht in der That vor sich, aber um dieselbe vollständig zu machen, muss man einen grossen Ueberschuss von Säure gebrauchen.

Bechergläser gebracht und hier in einer bestimmten Menge (im Ueberschusse) der titrirten NaHO-Lösung gelöst. Der Ueberschuss von Alkali wurde nun durch Säure (HCl) unter beständigem Umrühren der Flüssigkeit bis zum Entstehen einer nicht mehr verschwindenden Trübung titrirt. Da die von mir gebrauchten titrirten Lösungen von Säure und Alkali einander genau angepasst wurden (1 ccm Alkalilösung wurde genau durch 1 ccm Säure gesättigt), so konnte ich aus der Differenz der zur Auflösung und zur nachfolgenden Titrirung verbrauchten Quantitäten der Flüssigkeit ohne Weiteres die Alkaliquantität bestimmen, die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung, oder besser gesagt, zum Erhalten derselben im gelösten Zustande nöthig ist.

Selbstverständlich kann man mittelst desselben Verfahrens auch die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung nöthige Quantität von Säure bestimmen: hier muss man nur die Kupfereiweissverbindung im Ueberschusse von Säure auflösen und dann durch Alkali titriren.

Uebrigens modificirte ich immer das oben beschriebene Verfahren auf solche Weise, dass ich auf einmal die Löslichkeit der Kupfereiweissverbindung sowohl in Säure als in Alkali bestimmte. Diese Modification stellte nur die Fortsetzung und Ergänzung des beschriebenen Verfahrens dar und wurde folgendermaassen ausgeführt.

Nachdem das Titriren der alkalischen Lösung der Kupfereiweissverbindung durch Säure zu Ende gebracht worden war, fügte ich die neue Quantität von Säure hinzu, und zwar eine solche, welche zur Ausfällung und Wiederauflösung der Kupfereiweissverbindung genügend war. Da hier ein mehr oder minder grosser Ueberschuss von Säure nicht zu vermeiden ist, so titrirte ich diesen Ueberschuss wiederum durch Alkali bis zur Entstehung des ersten constanten Niederschlages. Auf solche Weise konnte ich also genau die Quantität von Säure bestimmen, die zur Ausfällung der Kupfereiweissverbindung und zu deren Wiederauflösung nöthig ist. Ebenso verfuhr ich auch in dem Falle, wenn die Kupfereiweissverbindung vorläufig in Säure gelöst wurde. Hier aber musste ich das Alkali anwenden, um die Kupfereiweissverbindung zu fällen und wieder aufzulösen und deshalb bestimmte ich die zur Erreichung dieses Resultates nöthige Quantität von Alkali.

Da die von mir gebrauchten titrirten Lösungen von Säure

und Alkali, wie früher schon bemerkt, einander ganz genau angepasst wurden, so ist es selbstverständlich, dass die auf die oben beschriebene Weise bestimmten Quantitäten von Säure resp. Alkali nichts anderes als die Summe der zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung nöthigen (in ccm ausgedrückten) Quantitäten von Säure und Alkali darstellen. In der That, wenn wir z. B. die in Alkali gelöste Kupfereiweissverbindung durch Säure fällen und wiederauflösen, so kann nur ein Theil der verbrauchten Säure zur Auflösung dieser Verbindung dienen, der andere Theil aber muss vorläufig das die Kupferverbindung in Lösung haltende Alkali sättigen: der letzte Theil muss augenscheinlich dieser Quantität von Alkali genau entsprechen. Wenn wir annehmen, dass die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung nöthigen Quantitäten von Säure und Alkali einander äquivalent sind (was, wie wie wir es sogleich sehen werden, der Wirklickeit entspricht), so müssen die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Quantitäten von Säure resp. Alkali zwei Mal so gross sein, wie die nur zur Auflösung nöthigen.

In der nachfolgenden Tabelle stelle ich die Resultate zusammen, die von mir bei sechs solchen Versuchen ermittelt wurden.

No.	I Quantität der trockenen Substanz	II Die zur Auflösung nöthige Quantität von Säure resp. Alkali (in ccm)	III Die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthige Quantität von Alkali resp. Säure (in ccm)	IV Verhältniss zwischen diesen Quantitäten	V Die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali als Mittel aus den vorigen Zahlen genommen (in ccm)	VI Berechnete Quantität des Natriums (in mgr)	VII Procentischer Gehalt an Natrium
1	1,0860 (S.)	10,4	19,8	1,94	10,066	11,073	1,020 %
2	2.5585 (Al.)	22,5	46,5	2,07	23	25,300	0,989 %
3	2,0987 (Al.)	19,2	39,2	2,04	19,466	21,413	1,020 %
4	2,3076 (S.)	20	38,4	1,92	19.466	21,413	0,928 %
5	3,0892 (S.)	26,5	53,2	2,01	26,566	29,223	0,946 %
6	2,9726 (S.)	26	51,2	1,97	25,733	28,307	0,952 %
Summe	14,1126	124,6	248,3	1,99	124,3	136,73	0,969

Zur Erläuterung dieser Tabelle muss ich Folgendes hinzufügen: Die in der Spalte I neben den Quantitäten (in gr) der

trockenen Substanz in Klammern gestellten Buchstaben S. und Al. zeigen an, ob die Kupfereiweissverbindung von Anfang an in Säure (S.) oder in Alkali (Al.) aufgelöst wurde. Die in den Spalten II und III angeführten Zahlen stellen die auf die früher beschriebene Weise bestimmten Quantitäten (in ccm der von mir gebrauchten titrirten Lösungen ausgedrückt) von Säure resp. Alkali dar, die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung (II) und zu deren Ausfällung und Wiederauflösung (III) nöthig sind. In der Spalte IV ist das Verhältniss berechnet, welches zwischen den Zahlen der Spalten III und II besteht. Wir sehen sogleich, dass dieses Verhältniss der Zahl 2 immer sehr nahe steht, in Summe sogar derselben fast genau gleich ist. Indem wir uns auf die früher angeführten Betrachtungen stützen, können wir schliessen, dass die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung nöthigen Quantitäten von Säure und Alkali einander äquivalent sind. Und deshalb können wir auch neben den in der Spalte II angeführten Zahlen die halbirten Zahlen der Spalte III als solche betrachten, welche die zur Auflösung der Kupfereiweissverbindung nöthigen Quantitäten von Säure resp. Alkali darstellen. Wenn wir also die entsprechenden Zahlen der Spalten II und III untereinander addiren und durch 3 dividiren, so erhalten wir die zur Auflösung nöthige Quantität von Säure, resp. Alkali, die gleichsam ein Mittel von 3 Versuchen darstellt. Diese in der Spalte V angebrachten Zahlen als viel genauere wurden von mir anstatt der Zahlen der Spalte II bei weiteren Berechnungen benutzt. In der Spalte VI ist die Quantität von Natrium in Milligrammen angeführt, welche den in der Spalte V befindlichen Zahlen entspricht (1 ccm meiner titrirten Lösungen enthielt resp. entsprach 1,1 mg von Natrium). Und endlich ist in der Spalte VII der procentische Gehalt an Natrium in Bezug auf die Quantität von trockener Kupfereiweissverbindung ausgerechnet.

Wir bemerken sogleich, dass die Zahlen, welche den procentischen Gehalt an Natrium ausdrücken, nur in ziemlich engen Grenzen schwanken. In Anbetracht der Schwierigkeiten, welche der genauen Bestimmung im Wege stehen [1]), kann man sagen,

1) Diese Schwierigkeiten bestehen hauptsächlich darin, dass man den Punkt, wo man beim Titriren eine constante Trübung erhält, nur annähernd bestimmen kann: dem Momente, wo ein ganz deutlicher constanter Nieder-

dass diese Schwankungen ganz im Gebiete der Fehlergrenzen liegen und dass also die zur Auflösung von Kupfereiweissverbindung nöthige Quantität von Natrium in constanter Beziehung zur Quantität der zu untersuchenden Substanz steht.

Wenn wir die von Harnack angegebene Formel für Kupfereiweissverbindung annehmen und das Verhältniss der von uns erhaltenen Quantitäten von Natrium zum Molekulargewicht dieser Verbindung ausrechnen, so finden wir uns genöthigt zu schliessen, dass einem Moleküle genau 2 Atome von Natrium entsprechen. Die Kupferverbindung, mit der ich zu thun hatte, enthielt in einem Moleküle 2 Atome Kupfer, wie es mir eine speciell dazu ausgeführte Bestimmung gezeigt hatte. Das Molekulargewicht solcher Verbindung ist gleich 4740,8. Wenn wir annehmen, dass dieselbe sich nur dann auflöst, wenn 2 Atome Natriums auf ein Molekül in der Lösung vorhanden sind, so berechnen wir den procentischen Gehalt an Natrium gleich 0,970 %. Wir bemerken sogleich, dass alle Zahlen der angeführten Tabelle in der That um diese Zahl herum schwanken (1,020—0,928) und dass die Zahl, welche aus der Summe der bei allen 6 Versuchen erhaltenen Resultate berechnet wurde (0,969 %) mit derselben sogar ganz genau übereinstimmt.

Die Uebereinstimmung ist so auffallend, dass man es kaum vermeiden kann, die Auflösung von Kupfereiweissverbindung als einen chemischen Process zu betrachten, bei welchem Alkali und Säure in die Constitution des Eiweissmoleküles eingehen, indem sie wahrscheinlich das Kupfer aus seiner Verbindung verdrängen. Bezüglich dieses letzten Punktes bleibt es übrigens unbegreiflich, warum 2 Atome von Kupfer durch 2, nicht aber durch 4 Atome von Natrium verdrängt werden.

Wie dem auch sei, jedenfalls beweisen diese Versuche, dass wir hier mit einer solchen Eiweissart zu thun haben, welche fähig ist, Verbindungen mit Säure und Alkali einzugehen. Dadurch wird selbstverständlich unsere Voraussetzung, dass das mit Kupfer verbundene Eiweiss nicht als Albumin, sondern als eine Art von Alkalialbuminat betrachtet werden muss, im Wesentlichen bestätigt.

---

schlag entsteht, geht immer eine mehr oder minder stark ausgeprägte Opalescenz der Flüssigkeit voran, so dass nur sehr schwer zu entscheiden ist, wo man beim Titriren anhalten soll.

Diese Versuche können ausserdem als Bestätigung der von Harnack für Kupfereiweissverbindung gegebenen Formel dienen. In der That, wenn wir auf Grund des aus der Summe aller Versuche berechneten Gehalts an Natrium das Molekulargewicht der Kupfereiweissverbindung berechnen wollen, so erhalten wir eine Zahl (4747,9), die mit der Harnack'schen Formel (4740,8) auffallend genau übereinstimmt.

Damit schliesse ich den ersten Theil meiner Untersuchung, der dem Qualificiren der Harnack'schen Substanz selbst und deren Verhältniss zu der Kupfereiweissverbindung gewidmet war. Ich kann nicht leugnen, dass die Beweise, welche ich für meine Vermuthung, dass die Kupfereiweissverbindung dem Alkalialbuminat gleichbedeutend ist, nicht so zwingend sind, um die Frage als ganz erledigt zu betrachten. Dennoch ist die blosse Möglichkeit, dass die Eiweisskörper bei ihrer Verbindung mit Metallen nicht als solche in Verbindung eingehen, sondern dabei mehr oder weniger tiefgreifende Veränderungen erleiden können, sehr wichtig. Fast alle Bestimmungen des Molekulargewichtes der Eiweisskörper, worüber wir verfügen, wurden an Eiweissverbindungen mit Metallen ausgeführt. Deshalb könnte man glauben, dass diese Bestimmungen nicht über das Molekulargewicht der Eiweisskörper, von denen man ausging, sondern nur über das Molekulargewicht ihrer Derivate Aufschluss geben. Das Molekulargewicht des genuinen Eiweisses möchte also viel höher als alle bis jetzt ermittelten Zahlen ausfallen. Der Gegenstand bedarf selbstverständlich einer weiteren Untersuchung, die auf Verbindungen des Eiweisses mit verschiedenen Metallen ausgedehnt würde.

Jetzt gehe ich über zu dem zweiten Theil meiner Untersuchung, welcher das Ziel hatte, die Löslichkeit der Harnack'schen Substanz in Säure und Alkali genauer zu verfolgen. Ich unternahm diese Untersuchung, da ich in der betreffenden Literatur keine genauen quantitativen Angaben darüber vorfand (keiner der Autoren, welche die Löslichkeit des Acid- resp. Alkalialbuminats in Säure und Alkali untersuchten, giebt die Quantitäten der zu den Versuchen gebrauchten trockenen Substanz an). Indessen sind die in dem ersten Theile beschriebenen Versuche über die Löslichkeit der Kupfereiweissverbindung im Stande, die Hoffnung zu erwecken, dass aus der Löslichkeit des Acid- resp. Alkalialbumi-

nats in Säure und Alkali die Schlüsse in Bezug auf das Molekulargewicht der betreffenden Substanzen gezogen werden können.

Die Methode, deren ich mich bediente, bedarf keiner weiteren Erklärung, da sie der früher in Bezug auf Kupfereiweissverbindung angewandten ganz identisch war.

Die ersten vorläufigen Versuche haben mir gezeigt, dass die Löslichkeit der Harnack'schen Substanz im Vergleich zu der Löslichkeit der Kupfereiweissverbindung viel grösser ist. Deshalb ist es nothwendig, um mehr oder minder genaue Resultate zu erhalten, sehr beträchtliche Mengen dieser Substanz bei den Versuchen anzuwenden. Dies ist aber ganz unmöglich, wenn man die Harnack'sche Substanz auf die von dem Verfasser angegebene Weise darstellt: man erleidet dann so grosse Verluste, dass die aus 20 Eiern dargestellte Menge ungefähr 1 g oder nur etwas mehr im trockenen Zustande beträgt, eine Quantität, welche für genaue Bestimmung als zu klein erscheint.

Daher bestand die erste Aufgabe, die ich zu lösen hatte, eine solche Modification des Harnack'schen Verfahrens zu ermitteln, bei welcher die Verluste an der darzustellenden Substanz möglichst klein ausfielen. Da die Verluste bei diesem Verfahren nur beim Auswaschen der aus der alkalischen Lösung durch Säure (oder aus der sauren Lösung durch NaCl) ausgefällten Substanz stattfinden und von der leichten Löslichkeit derselben im Wasser abhängen, so versuchte ich zum Auswaschen anstatt des Wassers die verdünnte (auf 1 Liter von destillirtem Wasser 50 ccm der officinellen Salzsäure) Salzsäure anzuwenden, in der die Harnack'sche Substanz sich verhältnissmässig schlecht auflöst. Dieses Auswaschen wurde fortgesetzt, bis in dem Filtrat keine Spuren von Kupfer nachweisbar waren. Nach dem nachfolgenden Auswaschen mit Wasser, welches solange dauerte, bis die Harnack'sche Substanz anfing, sich zu einer gallertartigen Masse umzuwandeln, wurde der ganze Niederschlag von dem Filter genommen, in grosser Menge von destillirtem Wasser vertheilt und unter gelindem Erwärmen aufgelöst. Die auf solche Weise erhaltene ganz klare Lösung der Harnack'schen Substanz wurde durch vorsichtige (tropfenweise) Neutralisation mit NaHO ausgefällt und durch Wasser ausgewaschen. Die so dargestellte Substanz zeigt, wenn man sie in kleiner Menge von HCl löst, alle diejenigen Eigenschaften, welche Harnack für seine Substanz angiebt.

Die ersten Versuche habe ich angestellt, ohne die Quantität der zu untersuchenden Substanz zu wägen. Auf Grund dieser Versuche wollte ich entscheiden, ob auch hier, wie bei den oben beschriebenen Versuchen mit Kupfereiweissverbindung, ein ebenso einfaches Verhältniss zwischen den Quantitäten von Säure resp. Alkali besteht, die zur einfachen Auflösung einerseits und zur Ausfällung und Wiederauflösung andererseits nöthig sind. Die Versuche ergaben, dass hier kein solches constantes Verhältniss vorhanden ist, wie wir es aus der nachfolgenden Tabelle, wo die Resultate einiger solchen Versuche zusammengestellt sind, leicht ersehen können.

In dieser Tabelle sind die Zahlen, die in unmittelbar nacheinander folgenden Zeilen angeführt sind, solchen Versuchen entnommen, die an verschiedenen Portionen einer gewissen auf einmal dargestellten Quantität der Harnack'schen Substanz angestellt sind. Die Zwischenräume zwischen einzelnen Zeilen bedeuten also, dass die Versuche mit der von Neuem dargestellten Substanz ausgeführt wurden.

Die ersten zwei Spalten haben dieselbe Bedeutung, wie die Spalten II und III der früher in Bezug auf die Kupfereiweissverbindung angeführten Tabelle, und bedürfen also keiner weiteren

No.	I Die zur Auflösung nöthige Quantität von Säure resp. Alkali (in ccm)	II Die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthige Quantität v. Alkali resp. Säure (in ccm)	III Das Verhältniss zwischen diesen Quantitäten	IV Die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali (in ccm)	V Das Verhältniss zwischen den Zahlen der II. und IV. Spalte
1	10 (Al.)	23	2,300	10	2,300
2	13 (S.)	23	1,769	10	2,300
3	9,2 (S.)	17,8	1,935	8,6	2,070
4	10 (Al.)	19,6	1,960	10	1,960
5	3 (Al.)	4,4	1,467	3	1,467
6	3,8 (Al.)	5,6	1,474	3,8	1,474
7	1,5 (S.)	4,5	3,000	3	1,500
8	2 (S.)	6,4	3,200	4,4	1,452

Erläuterung. In der dritten Spalte sind die Verhältnisse zwischen den Zahlen der zwei ersten ausgerechnet. Wir ersehen sogleich,

dass hier von der Constanz der Zahlen keine Rede sein kann. Man könnte wohl glauben, dass diese Inconstanz davon herrührt, dass wir unserer Berechnung die in der Spalte I angebrachten Zahlen, welche bald die zur Auflösung nöthigen Quantitäten von Alkali bald die von Säure ausdrücken, zu Grunde gelegt haben. Es wäre in der That möglich, dass die Harnack'sche Substanz Verbindungen mit verschiedenen Mengen von Säure und Alkali eingeht und dann müsste das von uns berechnete Verhältniss sich jedenfalls als inconstant erweisen. Die richtige Zusammenstellung der gewonnenen Resultate fordert also, dass man sich in allen Versuchen entweder nur auf die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali oder nur auf diejenige von Säure stützt. Um dieser Forderung genug zu thun, habe ich in der Spalte IV der angeführten Tabelle die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali für alle Versuche zusammengestellt (in den Versuchen, bei welchen die Harnack'sche Substanz von Anfang an in Säure gelöst wurde, habe ich diese Quantität erhalten, indem ich aus der zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Quantität von Alkali die zur Auflösung verbrauchte Quantität von Säure abgezogen habe) und in der Spalte V das gesuchte Verhältniss dargestellt.

Wir sehen, dass dieses Verhältniss auch hier keine Constanz aufweist: bald ist es fast genau gleich 2, wie bei früheren Versuchen mit Kupfereiweissverbindung (N° N° 3 und 4), bald ist es beträchtlich grösser (N° N° 1 und 2), bald aber beträchtlich kleiner (N° N° 5, 5, 7 und 8). Was hier besonders in die Augen fällt, das ist die fast genaue Uebereinstimmung zwischen den Zahlen, die bei der Untersuchung einer auf einmal dargestellten Quantität der Harnack'schen Substanz ermittelt wurden. Auf Grund dessen könnte man vermuthen, dass die Ursache der beobachteten Verschiedenheiten in den Darstellungsbedingungen liegt. Und in der That gelang es mir bei weiterer Untersuchung, diese Ursache mit grosser Wahrscheinlichkeit aufzufinden.

Die Zahlen von einigen der oben angeführten Versuche (N° N° 3, 4. 5, 6, 7 und 8) könnten uns sehr leicht Veranlassung geben zu vermuthen, dass die zur Auflösung der Harnack'schen Substanz nöthigen Quantitäten von Alkali und Säure in einem sehr einfachen Verhältniss zu einander stehen. Aus den Versuchen 3 und 4 können wir nämlich schliessen, dass diese Quantitäten einander aequivalent sind (bei solcher Aequivalenz müsste das

in der Tabelle berechnete Verhältniss gleich 2 sein), aus den Versuchen 5, 6, 7 und 8 aber, dass zwei Aequivalenten von Alkali ein Aequivalent von Säure entspricht (in diesem Falle müsste das in der Tabelle berechnete Verhältniss gleich 1, 5 sein). Ich glaubte, dass man zwischen diesen zwei Möglichkeiten auf folgende Weise entscheiden könne.

Nehmen wir an, dass wir einige Portionen der sauren und alkalischen Lösung der Harnack'schen Substanz vor uns haben, und dass in diesen Lösungen die Quantitäten von Säure und Alkali nur eben genügen, um diese Substanz im aufgelösten Zustande zu erhalten. Nehmen wir weiter an, dass wir im Voraus genau wissen, welche Quantitäten von Säure und Alkali nöthig sind, um in jeder Portion die Harnack'sche Substanz auszufällen und wieder aufzulösen. Fällen wir jetzt jede von diesen Portionen durch solche Quantitäten von Säure resp. Alkali, welche $^1/_3$, $^1/_2$ und $^2/_3$ der zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Menge ausmachen. Dann können wir überzeugt sein, dass wenigstens in einigen von diesen Portionen die hinzugefügten Quantitäten von Säure resp. Alkali entweder kleiner oder grösser sind, als es zur genauen Sättigung des vorhandenen freien Alkalis resp. Säure nothwendig ist, d. h. dass die Lösung noch eine gewisse Quantität von freier Säure resp. Alkali enthalten muss. Deshalb könnte man glauben, dass in einigen Portionen die Fällung der Harnack'schen Substanz nicht vollständig sein wird, da die in der Lösung befindliche freie Säure resp. Alkali einen Theil von dieser Substanz im aufgelösten Zustande erhalten muss. Diese gelöste Substanz muss selbstverständlich nach der Filtration in dem Filtrat durch Hinzufügung kleiner Mengen von Säure resp. Alkali nachweisbar sein. Es ist leicht einzusehen, dass daraus Schlüsse in Bezug auf die zur Auflösung der Harnack'schen Substanz nöthigen Mengen von Säure und Alkali unmittelbar gefolgert werden können [1]).

1) Beim ersten Blicke könnte man glauben, dass solche Schlüsse viel einfacher zu bekommen sind, wenn man die Quantitäten von Säure resp. Alkali bestimmt, die zur genauen Neutralisation der Lösung nöthig sind. Es erwies sich aber, dass ein solches Verfahren ganz unbrauchbar ist, da nicht nur die saure, sondern auch die alkalische Lösung der Harnack'schen Substanz sauer (oder im äussersten Falle neutral) reagirt. Davon kann man

Solche Versuche wurden als Fortsetzung einiger der oben angeführten angestellt. Beim Ende jedes von diesen Versuchen hatte ich in der That eine solche Lösung, in der die Quantitäten von Säure resp. Alkali eben ausreichend waren, um die Harnack'sche Substanz in Lösung zu halten, in jedem von diesen Versuchen wusste ich schon von vornherein, welche Quantität von Säure resp. Alkali zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthig war. In Bezug auf diesen letzten Punkt muss ich noch eine Bemerkung machen. In jedem Versuche, wo ich vorher die Quantität der zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Säure bestimmt habe, musste ich die nachfolgende Fällung durch Alkali vornehmen, und umgekehrt. Folglich konnten die nachfolgenden Versuche in der oben beschriebenen Weise nur unter der Voraussetzung ausgeführt werden, dass die auf experimentellem Wege bestimmten Quantitäten von Säure resp. Alkali, die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthig sind, ganz genau den Quantitäten von Alkali resp. Säure entsprechen, die beim Fortsetzen des Versuches zur Erreichung desselben Effects nothwendig sind. Obgleich diese Voraussetzung schon a priori sehr wahrscheinlich ist, habe ich dennoch einige speciell darauf gerichtete Versuche angestellt, bei denen ich mehrmals nacheinander die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Quantitäten von Alkali und Säure abwechselnd bestimmte. Als Beispiel führe ich die Resultate von 3 solchen Versuchen an.

---

sich sehr leicht überzeugen, wenn man die Versuche der Ausfällung und Wiederauflösung der Harnack'schen Substanz in einer Lösung vornimmt, in die man vorläufig einige Tropfen von Rosolsäure hinzugefügt hat. Wenn man sich auf die Angaben von Mörner (Pflüger's Arch. B. XVII. S. 474 und 475) stützt, so muss man also die Harnack'sche Substanz dem Alkalialbuminat, nicht aber dem Acidalbumin gleich setzen. Als eine von den Eigenschaften, welche beide Substanzen von einander unterscheiden sollen, giebt Mörner nämlich an, dass die alkalische Lösung von Alkalialbuminat nicht alkalisch, wie die des Acidalbumins, sondern sauer oder im äussersten Falle neutral reagirt. Wenn wir das im ersten Theile der vorliegenden Untersuchung Gesagte in Betracht ziehen, so können wir in solchem Verhalten der Harnack'schen Substanz nur einen weiteren Beweis zu Gunsten der dort entwickelten Ansichten erblicken.

1. Versuch. Alkalische Lösung.

Die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthige Quantität von Säure = 3,7 ccm
„ „ von Alkali = 3,7 ccm
„ „ von Säure = 4 ccm
„ „ von Alkali = 3,9 ccm

2. Versuch. Alkalische Lösung.

Die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthige Quantität von Säure = 23 ccm
„ „ von Alkali = 22 ccm

3. Versuch. Saure Lösung.

Die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthige Quantität von Alkali = 25 ccm
„ „ von Säure = 24 ccm

Diese Versuche stimmen untereinander so gut überein, dass es keinem Zweifel unterliegen kann, dass die oben gemachte Voraussetzung richtig ist, und dass wir also eine volle Möglichkeit hatten, die in der vorigen Tabelle angeführten Versuche auf die oben beschriebene Weise fortzusetzen.

Solche Versuche haben ein ganz unerwartetes Resultat ergeben, dass nämlich in allen Portionen die Fällung der Harnack'schen Substanz vollständig ist: man kann in dem Filtrat nicht nur durch Hinzufügung kleiner Quantitäten von Säure resp. Alkali, sondern auch bei Hinzusetzung von Phosphorwolframsäure (zu der vorläufig mit Salzsäure angesäuerten Flüssigkeit) keinen merklichen Niederschlag erhalten (bei Hinzufügung von Phosphorwolframsäure erhält man übrigens eine Trübung, welche aber in allen Portionen ganz gleich ausfällt und wahrscheinlich von der geringen Löslichkeit der Harnack'schen Substanz in neutralen Flüssigkeiten herrührt).

Auf Grund dessen können wir also zu dem folgenden Schlusse gelangen: Wenn bei Ausfällung der Harnack'schen Substanz durch Neutralisation der grösste Theil von Substanz sich im Niederschlage befinden muss, so reisst er auch denjenigen Theil mit, welcher sich in der Lösung befinden könnte, da er noch eine gewisse Quantität von freier Säure resp. Alkali vorfindet. Der Ueberschuss von Alkali und Säure wird dabei auch mitfortgerissen, wie wenigstens aus der neutralen Reaction der zurückbleibenden Flüssigkeit zu schliessen ist.

Also wenn man die Harnack'sche Substanz durch Neutralisation fällt, so kann man niemals überzeugt sein, dass die erhaltene Substanz ganz frei von Säure oder Alkali ist: immer bleibt es möglich, dass kleine (in verschiedenen Fällen verschiedene) Mengen von diesen Reagentien durch den Niederschlag mitgerissen worden sind. Es ist leicht einzusehen, dass dadurch die Versuche, welche man in Bezug auf die Löslichkeit des Niederschlages in Säure resp. Alkali anstellt, mehr oder weniger gestört werden. Deshalb können die bei solchen Versuchen ermittelten Zahlen keineswegs als ganz zuverlässig gelten: diese Zahlen müssen immer bald zu gross bald zu klein ausfallen.

Auf Grund des oben Gesagten können wir eine wichtige Regel ableiten, die wir bei der Behandlung der bei weiteren genauen Versuchen über die Löslichkeit der Harnack'schen Substanz ermittelten Zahlen zu beobachten haben. Wir können nämlich keineswegs die zur Auflösung dieser Substanz nöthigen Quantitäten von Alkali resp. Säure in Betracht ziehen, sondern müssen uns nur auf die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthigen Quantitäten beschränken. Deshalb sind in der nachfolgenden Tabelle, wo ich die Resultate solcher Versuche zusammenstelle, nur diese letzten Zahlen angegeben.

No.	I	II	Erste Voraussetzung		Zweite Voraussetzung	
			III	IV	V	VI
	Quantität der trockenen Harnack'schen Substanz (in g)	Quantität von Säure resp. Alkali, die zur Ausfällung und Wiederauflösung nöthig ist (in ccm)	Quantität von Natrium (in Mgr)	Procentischer Gehalt an Natrium	Quantität von Natrium (in mgr)	Procentischer Gehalt an Natrium
1	3,1989 (Al.)	19,6	10,780	0,337 %	14,373	0,449 %
2	2,5950 (S.)	17,8	9,790	0,377 %	13,053	0,503 %
3	2,4634 (S.)	17,2	9,469	0,384 %	12,613	0,512 %
4	2,7024 (S.)	19,2	10,560	0,391 %	14,080	0,521 %
Summe	10,9597	73,8	40,590	0,370 %	54,12	0,494 %

Die ersten zwei Spalten der angeführten Tabelle bedürfen keiner weiteren Erläuterung. In den übrigen habe ich die Resultate der Berechnungen angeführt, die sich auf zwei verschiedene Voraussetzungen stützen. In den Spalten III und IV sind die

Zahlen enthalten, die ich bei der Voraussetzung bekommen habe, dass die zur Auflösung nöthigen Quantitäten von Alkali und Säure einander aequivalent sind. Zur Berechnung der zur Auflösung nöthigen Quantität von NaHO-Lösung musste ich folglich die in der Spalte II angebrachten Zahlen durch 2 dividiren, und zur Berechnung der Quantität von Natrium die erhaltenen Zahlen mit 1,1 (der Quantität von Natrium, die 1 cct. meiner titriten Lösung enthielt) multipliciren. In der Tabelle sind nur diese letzten Zahlen angeführt (Spalte III) und auf Grund derselben der procentische Gehalt an Natrium berechnet (Spalte IV). Der Berechnung der in den Spalten V und VI enthaltenen Zahlen habe ich die Voraussetzung zu Grunde gelegt, dass die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali zweimal so gross ist, wie die der Säure. Deshalb musste ich $^2/_3$ der in der Spalte II enthaltenen Zahlen als die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali betrachten und auf Grund deren die Quantität von Natrium (Spalte V) und den procentischen Gehalt (Spalte VI) berechnen.

Wenn wir das Molekulargewicht der Harnack'schen Substanz gleich 4618 setzen (die von Harnack angegebene Zahl) und annehmen, dass einem Moleküle derselben 1 Atom von Natrium entspricht, so berechnen wir den procentischen Gehalt an Natrium gleich 0,498 %, eine Zahl, die den in unserer Tabelle auf Grund der zweiten Voraussetzung berechneten (0,449—0,521, im Mittel 0,494 %) sehr nahe steht.

Indem wir uns auf diese Uebereinstimmung stützen, könnten wir annehmen, erstens, dass unsere zweite Voraussetzung der Wirklichkeit entspricht und dass also die Aequivalente der zur Auflösung der Harnack'schen Substanz nöthigen Mengen von Alkali und Säure sich zu einander wie 2 : 1 verhalten, und zweitens, dass zur Auflösung in das Molekül der Harnack'schen Substanz nur ein Atom von Natrium eintreten muss. Daraus folgt selbstverständlich, dass zur Auflösung in HCl nur ein halbes Atom von Cl nothwendig ist, was nur unter Voraussetzung möglich ist, dass die von Harnack angegebene Formel verdoppelt werden muss[1]).

1) Im Text habe ich angenommen, dass die zur Auflösung nöthige Quantität von Alkali zwei Mal so gross ist wie die entsprechende Quantität

für die Frage, wie es kommt, dass die Wimpern einer Zelle oder einer Epithelreihe im normalen Zustande sich völlig gesetzmässig stets der Reihe nach, nie ausser der Reihe bewegen.

Ein Frühjahrsaufenthalt in dem durch seine reiche pelagische Fauna bekannten Villafranca, der mir z. Th. durch die Verleihung des Blumenbach'schen Reisestipendiums seitens der Medicinischen Facultät der Universität Göttingen und einer Unterstützung aus der Paul von Ritter-Stiftung von Seiten des Herrn Prof. Haeckel ermöglicht wurde, bot mir Gelegenheit, diese Frage, der ich schon früher in meinen „psychophysiologischen Protistenstudien"[1]) näher getreten war, weiter zu verfolgen, und zwar an einem Object, das in vieler Beziehung für das Studium der Flimmerbewegung als ideal betrachtet werden kann, den Schwimmplättchen der Ctenophoren. Herrn Professor Korotneff, dem Director der Station russe de Zoologie in Villafranca, der mir in liberalster Weise die Mittel seines Laboratoriums zur Verfügung stellte, möchte ich nicht versäumen für seine ausserordentliche Liebenswürdigkeit meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

I. Die Versuchsobjecte.

Als Objecte für die folgenden Versuche wurde besonders Beroë ovata, daneben auch Eucharis multicornis und Cestus Veneris benutzt. Wenn man von dem etwas abweichenden Bau von Cestus Veneris absieht, sind die Ctenophoren charakterisirt durch 8 lange, von dem aboralen, dem sog. Sinnespol nach dem Mundpol hin verlaufende Rippen oder Reihen von Schwimmplättchen, welche durch ihre Thätigkeit das Hauptmoment für die Locomotion dieser Thiere liefern. Um die Berechtigung nachzuweisen, dass die an diesen Reihen von Schwimmplättchen beobachteten Vorgänge ohne weiteres mit den Erscheinungen der Flimmerbewegung identificirt werden dürfen, sei hier zunächst kurz an die morphologischen Verhältnisse derselben erinnert[2]). Die Plättchen jeder Rippe beginnen in einiger Entfernung vom „Sinneskörper" und laufen in einfacher Reihe unter einander stehend

---

1) Jena, 1889. Verl. v. Gustav Fischer.

2) Genauere Einzelheiten sind nachzusehen in der vortrefflichen Monographie der Rippenquallen von K. Chun: „Die Ctenophoren des Golfes von Neapel und der angrenzenden Meeresabschnitte." Leipzig 1880.

nach dem Mundpol (Fig. 1). Jedes Plättchen besteht aus einer Summe von eng untereinander verbundenen Flimmerhaaren, deren zugehörige Zellen eine Leiste, das sog. Basalpolster bilden (Fig. 2). Die Verbindung der Wimpern untereinander ist mehr eine Ver-



Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. Beroë ovata. Oben der Sinnespol, unten der Mundpol. 4 von oben nach unten laufende Rippen sind sichtbar.

Fig. 2. Zwei ruhende Schwimmplättchen von Beroë in der Profilansicht. Unten die Basalpolster aus langen cylindrischen Zellen bestehend. Schematisch.

klebung als eine eigentliche Verschmelzung ihrer Substanz zu nennen, da sich leicht Wimpern durch mechanische Insulte, Druck mit Deckglas oder Nadel oder durch chemische Einwirkungen von der Masse trennen lassen. An Macerationspräparaten constatirte Chun, dass zu jeder Flimmerzelle des Basalpolsters eine grössere Menge feiner Flimmerhärchen gehört. Die Zellen des Basalposters sind Cylinderzellen und bilden eine einfache Lage, wie Chun bereits im Gegensatz zu früheren Beobachtern hervorhebt, und wie ich an Präparaten, die mit Picrokarmin gefärbt wurden, bestätigen konnte. Was an den Flimmerzellen für den Physiologen aber besonders wichtig ist, das ist die enorme Länge der Flimmerhaare. Die Plättchen sind nämlich bei Beroë durchschnittlich 2 mm lang, d. h. die Wimpern übertreffen die Länge des Zellkörpers ungefähr um das zehnfache. Es ist erklärlich, dass der motorische Effect dieser langen, zu kräftigen Platten verbundenen Wimpern ein bedeutender sein kann und dass die Thätig-

keit der Platten die active Locomotion der doch durchschnittlich 5—10 cm grossen Thiere allein zu besorgen im Stande ist. Diese morphologischen Verhältnisse mögen genügen um zu zeigen, dass die Rippen der Ctenophoren als ein Homologon der Flimmerepithelien aufzufassen sind, oder vielmehr als ein Flimmerepithel selbst, das in Anpassung an die Function der Locomotionsvermittelung sich in eigenthümlicher Weise entwickelt hat. Die Anordnung der Plättchen zu einzelnen, einfachen Reihen, dann die bedeutende Grösse derselben, welche es gestattet die Vorgänge der Bewegung makroskopisch zu beobachten und an den Plättchen makroskopisch zu experimentiren, sowie endlich der Umstand, dass die bei allen Flimmerepithelien so sehr lästige und nie ganz vermeidliche Schleimsecretion hier fortfällt, sind die grossen Vortheile, welche die Ctenophoren für das Studium der Flimmerbewegung bieten und welche auch Chun bereits zu der Bemerkung veranlasst haben, dass die Schwimmplättchen der Ctenophoren „gewiss für das Studium der Flimmerbewegung dereinst noch die geeignetsten Objecte abgeben“ werden. Auch ich möchte die Ctenophoren allen späteren Experimentatoren besonders empfehlen, denn die Schwimmplättchen sind nicht nur in morphologischer Beziehung als Reihen von eigenthümlich differenzirtem Flimmerepithel zu betrachten, sondern zeigen auch in physiologischer Hinsicht bis in die kleinsten Einzelheiten genau alle Erscheinungen der Flimmerbewegung, wie man sie von den Infusorien bis zu den höchsten Thieren hinauf an den verschiedensten histologischen Objecten kennt. In der Ruhelage sind die Plättchen über ihrer Wurzel nach dem Mundpol zu umgebogen (Fig. 2), so dass sie fast parallel der Körperoberfläche liegen und sich bei ihrer dachziegelförmigen Anordnung berühren. Die Bewegung findet in der Weise statt, dass das Plättchen nach dem Sinnespol zu einen energischen Schlag ausführt und dann wieder in seine Ruhelage zurückgleitet. Eine Schilderung der feineren Verhältnisse wird später folgen. Die Plättchen einer Rippe schlagen unter normalen Verhältnissen stets der Reihe nach in regelmässiger Aufeinanderfolge, also nicht synchron, sondern metachron, wie ich dieses Verhältniss bezeichnen möchte. Die Metachronie des Plättchenschlages erweckt den Anschein, als ob fortwährend vom Sinnespol aus Wellen nach dem Mundpol hin verliefen, also im umgekehrten Sinne des Schlages, eine optische Erscheinung, auf die ich nicht näher einzugehen brauche, da sie

von H. Kraft[1]) vor kurzem an Flimmerepithelien bereits eingehender beleuchtet wurde. Da die Plättchen infolge ihrer Zusammensetzung aus einzelnen Fibrillen in perlmutterartigem Glanze erscheinen und je nach ihrer Stellung ihre prächtigen Farben wechseln, so bieten die über die 8 Rippen der zarten Thiere dahinlaufenden Wimperwellen einen ungemein fesselnden Anblick und machen die Betrachtung der Ctenophoren zu einem grossen optischen Genuss. In der Regel ist der Schlag der Plättchen dauernd rhythmisch, schneller oder langsamer, doch kommt es auch bei normalen Individuen in bestimmten Fällen vor, dass spontan der Schlag einiger Plattenreihen vorübergehend ganz sistirt resp. unregelmässig intermittirend wird. Diese Erscheinungen haben Eimer[2]) dazu veranlasst, bei der Plättchenbewegung der Ctenophoren zwei Arten zu unterscheiden, eine unwillkürliche, repräsentirt durch die gewöhnliche, rhythmische und eine willkürliche, repräsentirt durch jene unregelmässig wechselnde Form, die besonders beim Schwimmen des Thieres häufig vorkommt. Nach Eimers Ansicht würde die erstere Form der gewöhnlichen Flimmerbewegung entsprechen, während bei der zweiten Form die gewöhnliche Flimmerbewegung von Seiten des Nervensystems in gewisser Weise beeinflusst wird. Es soll an dieser Stelle die Frage nach dem vielumstrittenen Nervensystem der Ctenophoren und damit die Beeinflussung der Plättchenbewegung von einem solchen nicht erörtert werden, da dieselbe für den vorliegenden Zweck vollkommen indifferent ist. Für die folgenden Betrachtungen genügt es zu wissen, — worin übrigens alle Beobachter übereinstimmen, — dass die gewöhnliche Plättchenbewegung an sich ohne Thätigkeit eines Nervensystems zu Stande kommt. Aus demselben Grunde gehe ich hier nicht auf die Frage nach der Beeinflussung der Plättchenbewegung von Seiten des sog. Sinneskörpers ein, besonders, da ich diese Frage später in einer speciellen Mittheilung zu berühren gedenke. Dagegen will ich nicht unterlassen, auf eine mechanische Beeinflussung der Plättchenbewegung von Seiten des

---

1) H. Kraft: „Zur Physiologie des Flimmerepithels bei Wirbelthieren.“ In Pflügers Arch. Bd. 47, 1890.

2) Eimer: „Versuche über künstliche Theilbarkeit von Beroë ovatus. Angestellt zum Zweck der Controle seiner morphologischen Befunde über das Nervensystem dieses Thieres. In Arch. f. mikr. Anat. Bd. XVII. 1880.

darunter liegenden Gewebes hinzuweisen, weil sie wohl das einzige störende Moment bei den Versuchen repräsentirt.

Berührt man nämlich eine Rippe etwas unvorsichtig, so versenkt sie sich sofort in die Tiefe des Gewebes, indem die Gallertsubstanz sich zu beiden Seiten über ihr zusammenschliesst. Die Bewegung der Plättchen wird natürlich durch die mechanische Verbindung im selben Moment sistirt. Eine Reizung des ganzen Körpers, etwa eine Erschütterung kann momentan alle 8 Rippen in die Tiefe des Gallertgewebes treten und so die Bewegung an ihnen aufhören lassen. Je stärker die Reizung ist, um so vollständiger ist die Bedeckung von dem sich zu beiden Seiten herüberwölbenden Gallertgewebe. Schwache Reizung lässt die Reihen nur eben merklich in die Tiefe treten, wobei aber ihre Bewegung nichtsdestoweniger ebenfalls sistirt wird. Nach mehr oder weniger langer Zeit, bei geringer Reizung oft sofort beginnt sich die Reihe wieder zu heben und sobald sie wieder in ihre normale Lage zurückgekehrt ist, tritt auch die Bewegung wieder ein. Der Mechanismus, der diese Retraction der Rippen in die Tiefe des Gallertgewebes vermittelt, ist ein muskulöser. Von dem unterhalb der Rippe im Gallertgewebe, parallel zu dieser verlaufenden Gefäss ziehen feine, glatte Muskelfäden senkrecht zur Rippe und

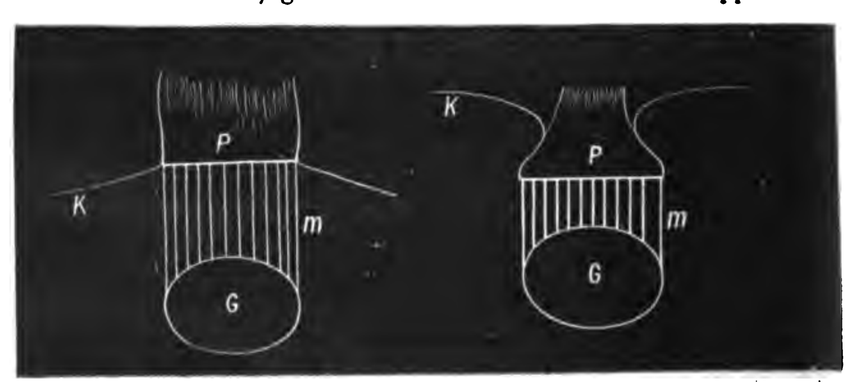


Fig. 3 a. Fig. 3 b.

Fig. 3 a. Querschnitt durch eine ausgestreckte Rippe. *P.* Schwimmplättchen, *K.* Körperoberfläche, *G.* Gefäss, *M.* Muskelfasern.

Fig. 3 b. Querschnitt durch eine retrahirte Rippe.

inseriren sich dicht unterhalb der Plättchen (Fig. 3a). Contrahiren sich nun diese Muskelfasern in Folge eines Reizes, so tritt die angegebene Retraction der Reihe ein (Fig. 3b). Ausser den

vom Gefäss zur Rippe verlaufenden, sich senkrecht an dieser ansetzenden Fasern giebt es noch andere, besonders Längsfasern, die parallel mit der Rippe dicht unter ihr verlaufen und bei Eucharis schliesslich auch Querfasern zwischen den einzelnen Rippen. Die Thätigkeit dieser Fasern kommt indessen für die Retraction der Rippe weniger in Betracht. Da die Ctenophoren sehr sensible Thiere sind und da sich manche Individuen noch durch besondere Reizbarkeit auszeichnen, so bildet diese Erscheinung in der That bisweilen ein störendes Moment. Ich versuchte daher durch Anwendung verschiedener chemischen Mittel diese störenden Muskelbewegungen auszuschliessen, ohne jedoch in dieser Beziehung glücklicher gewesen zu sein als Krukenberg[1]), als er zur Erforschung des Nervensystems der Ctenophoren Versuche mit verschiedenen Alkaloïden anstellte. Uebrigens kann man bei einiger Uebung die folgenden Versuche bald so vorsichtig anstellen, dass nicht die geringste Spur von Retraction eintritt, besonders wenn man nicht allzu sensible Individuen zu den Versuchen nimmt. Ich fand es zweckmässig, die Thiere nicht gleich nach dem Einfangen zu benutzen, sondern etwa erst einen halben oder ganzen Tag später. Mir schien es, als ob dann die Reizbarkeit geringer geworden wäre.

Da es dringend nöthig ist, für die folgenden Fragen bis zu cellularen Verhältnissen vorzugehen, so werden ausser den Ctenophoren gelegentlich auch einige bereits a. a. O.[2]) von mir mitgetheilte und neuerdings zum Theil wiederholte Versuche an ciliaten Infusorien mit in den Kreis der Betrachtung gezogen werden.

II. Die Autonomie der Flimmerelemente[3]).

Der folgende Versuch ist bereits von Eimer an Beroë ovata ausgeführt worden, doch sind Eimer einige Momente entgangen, die ich noch hervorheben möchte.

Als Versuchsobject dient Beroë oder in diesem Fall noch besser Eucharis. Das Versuchsthier wird in ein flaches,

1) Krukenberg: „Vergleichend-physiologische Studien". I. Reihe, 3. Abth. 1881: „Der Schlag der Schwimmplättchen von Beroë ovatus".

2) Verworn: „Psycho-physiologische Protistenstudien. Experimentelle Untersuchungen". Jena 1889.

3) Als „Flimmerelement" soll im Folgenden der Kürze halber jede Wimper mit ihrem anhaftenden Protoplasma bezeichnet werden.

nicht zu grosses Glasgefäss mit Seewasser gesetzt, so dass es horizontal liegen muss und keine Locomotion ausführen kann. Die Bewegung auf den Rippen ist normal, es laufen fortwährend rhythmisch aufeinander folgende Wellen vom Sinnespol kommend nach dem Mundpol hin. Wird nun mit einer schmalen und spitzen Lanzette etwa in der Mitte einer Rippe zwischen zwei Schwimmplättchen ein ganz flacher Einschnitt gemacht, resp. bei Eucharis der schmale je zwei Plättchen mit einander verbindende Streifen von Flimmerzellen mit der Spitze der Lanzette durchtrennt, so tritt in der Regel in Folge des durch die Operation verursachten Reizes eine schwache Retraction der Rippe ein, während welcher die Plättchenbewegung ganz stillsteht. Bei Eucharis lässt sich die Operation so sanft ausführen, dass die Retraction ganz ausbleibt. Hat nun die Retraction entweder nachgelassen oder ist sie ganz ausgeblieben, so bemerkt man in dem nach dem Mundpol zu gelegenen Abschnitte der Rippe eine ungeheure Beschleunigung der Bewegung: die erste Platte unterhalb der Schnittstelle ist in fieberhaft schnellen Schlägen begriffen und ihre Schläge pflanzen sich über den ganzen oralen Abschnitt der Rippe fort. Nach einiger Zeit (nach einigen Secunden bis zu mehreren Minuten) hört plötzlich diese rasende Bewegung ganz auf und der orale Abschnitt der Rippe bleibt jetzt mehr oder weniger lange Zeit (oft nur wenige Minuten, zuweilen eine Stunde und länger) in Ruhe. Danach beginnen vereinzelte Wellen von der ersten Platte ausgehend aufzutreten, die nach und nach zahlreicher werden, bis schliesslich der untere Abschnitt ganz rhythmisch wie eine unverletzte Rippe thätig ist. Bei vorsichtiger Operation mit möglichst geringer Verletzung des unter der Rippe gelegenen Gewebes, wie sie besonders Eucharis leicht gestattet, geschieht es nur sehr selten, dass das Erregungsstadium ausbleibt, und auch in diesen Fällen immer nur nach längerer Retraction der Rippe. Wird dagegen eine grosse Verletzung gemacht, der Einschnitt tief ausgeführt und mehrere Platten zerquetscht oder zerschnitten, so dauert die Retraction sehr lange und nach ihrer Lösung fehlt häufig das Erregungsstadium, so dass in dem oralen Abschnitt sofort nach der Operation für längere Zeit, zuweilen bis über 2 Stunden völlige Ruhe herrscht. Im aboralen Abschnitt tritt ebenfalls bei ganz vorsichtiger Operation nur eine kurze, bei Eucharis mitunter gar keine Retraction ein und die Wellen gehen nach kurzer Unterbrechung in normaler Weise

weiter. Bei tiefer eingreifender Operation bleibt dagegen die Retraction und die damit verbundene Ruhe im aboralen Abschnitt häufig auch sehr lange bestehen. Ist in beiden von einander getrennten Abschnitten der Reihe die Bewegung wieder eingetreten, so findet sie in jedem „unabhängig“ und meistens in anderem Rhythmus statt, d. h. die Metachronie ist an der Schnittstelle unterbrochen.

Man kann nun den unteren Abschnitt der Rippe mit beliebig viel oder wenig daran hängendem Gewebe aus dem Körper ganz herausschneiden. Nach dem Aufhören der dadurch bedingten Retraction und ev. nach einem geringen Ruhestadium tritt die Bewegung allmählich wieder in ganz normaler Weise ein, die Wellen verlaufen wieder rhythmisch vom ersten Plättchen ausgehend nach dem ursprünglich oralen Ende zu. Schneidet man jetzt von diesem Präparat ein kleines Stück, etwa 3 oder 4 Plättchen enthaltend, ab, so treten an diesem wieder genau dieselben Erscheinungen auf wie nach jeder tiefergehenden Durchschneidung einer ganzen Rippe. Nach einem mehr oder weniger langen Ruhestadium, das sich bis über zwei Stunden erstrecken kann, setzt anfangs unregelmässig, bald aber rhythmisch die Bewegung wieder ein und verläuft metachron über alle 3 oder 4 Plättchen. Von Cestus Veneris hatte ich ein ca. 1,5—2 mm grosses Stück mit 3 Plättchen losgetrennt, das sich bald abrundete und nach einem Ruhestadium noch ca. 2 Tage lang mit wenigen Unterbrechungen rhythmische, metachrone Schläge der Plättchen machte, ja sogar zeitweilig dadurch Locomotionen ausführte.

Man kann noch weiter gehen. Es gelingt in vorsichtiger Weise ein einzelnes Plättchen mit daranhängendem Basalpolster fast ganz ohne weitere histologische Elemente mit Hülfe der Lanzette abzutrennen. Bei Cestus kann man sogar ein Plättchen mit der Pincette an seiner Spitze fassen und mit sammt seinem Basalpolster, fast völlig ohne anderes Gewebe ausreissen. Die Zerquetschung der Wimperspitze stört dabei nicht weiter. Solche isolirte Plättchen, auch wenn sie nicht mit der Pincette gequetscht sind, zeigen sehr häufig sofort nach der Lostrennung das bekannte Erregungsstadium, in welchem sie fieberhaft schnelle rhythmische Schläge ausführen und sich zuweilen auf diese Weise selbstständig durch das Wasser bewegen. Häufig bleibt jedoch auch das Erregungsstadium aus. Jedenfalls folgt aber ein mehr oder weniger langes Ruhestadium, das nicht selten mehrere Stunden währt, so

dass man in diesen Fällen das Plättchen schon für todt halten könnte, wenn nicht seine Durchsichtigkeit und sein Perlmutterglanz, die nur dem lebenden Plättchen zukommen, sein Leben noch bewiesen. Auch gelingt es stets eine gewisse Zeit nach der Lostrennung durch Berühren mit einer Nadel die Plättchen zu einem Schlage zu veranlassen. Nach Ablauf des Ruhestadiums beginnen dann einzelne durch lange Pausen von einander getrennte spontane Schläge aufzutreten, die später häufiger werden und sich bei wenig insultirten Plättchen wieder zu einem rhythmischen Schlagen entwickeln. Bei vielen isolirten Platten jedoch beschränkt sich die Thätigkeit auf vereinzelte Schläge. Immer aber tritt die spontane Thätigkeit ausnahmslos stets viel später auf als die durch Reize zu erzielenden Schläge.

Schliesslich kann man sogar mit einer feinen Lanzette ein einzelnes Plättchen der Länge nach, d. h. parallel zur Wimperstreifung durchschneiden und in mehrere schmale Streifen zerlegen, die aus einer Anzahl basaler Zellen mit daranhängenden verklebten Wimperhaaren bestehen. Alle diese Streifen verhalten sich genau so wie ganze Platten.

Zur Ergänzung dieser Beobachtungen an Ctenophoren sei hier an einige zum Theil bereits bekannte Thatsachen von anderen mit Flimmerbewegung versehenen Objecten erinnert. Bei den Schwimmplättchen der Ctenophoren ist es nicht leicht möglich, einzelne Flimmerzellen zu isoliren, wie es dagegen bei manchen Flimmerpithelien gelingt. So kann man durch Zerzupfen der Kiemen von Lamellibranchiaten nicht selten isolirte Zellen erhalten, die nach ihrer Lostrennung die rhythmischen Bewegungen noch lange Zeit fortsetzen.

Die Beobachtungen reichen noch weiter. Es ist mehrfach constatirt worden, dass selbst Fetzen von Flimmerepithelzellen, welche nur aus dem oberen, die Wimpern tragenden Theil der Zelle bestanden, nichtsdestoweniger ihre Flimmerbewegung in der gewöhnlichen Weise fortsetzten. Am schönsten aber konnte ich diese Erscheinung an ciliaten Infusorien beobachten. Die adoralen Wimperstreifen der grossen heterotrichen Ciliaten sind für die mikroskopische Untersuchung der Flimmerbewegung ein ungemein günstiges Object. Mit geeigneten, feinen Instrumenten gelang es mir unter dem Mikroskop bei Stentor und Spirostomum Stücke aus diesen Periostomwimperreihen herauszuschneiden, welche ausser

einer Anzahl von Wimpern nur einen schmalen Streifen von Protoplasma ohne Kern enthielten. Solche Stücke konnten unter zweckmässigen Bedingungen, selbst wenn sie sehr klein waren, noch stundenlang am Leben erhalten werden, während dessen die Bewegung der Wimpern nach Ueberwindung eines Stadiums gesteigerter Thätigkeit sich in nichts von der normalen rhythmischen und metachronen Bewegung am unverletzten Infusor unterschied. Auch weitere Theilungen grösserer herausgeschnittener Stücke waren noch möglich, die eine Anzahl von Theilstücken des Wimperstreifens ergaben, von denen jedes nach Ueberwindung eines kurzen Erregungsstadiums seine normalen Bewegungen fortsetzte und zwar schlugen alle Stücke in demselben Rhythmus mit ihren Wimpern wie vorher am ganzen Infusor. Soweit die technischen Schwierigkeiten es nicht verbieten, lassen sich die Theilungen stets mit demselben Erfolge ausführen. Eine rohere Methode, die des Zerdrückens unter dem Deckglas, liefert bisweilen noch viel kleinere Theilstücke als sie durch Zerschneiden zu erreichen sind, und auch hier kann man an Stücken, die nur noch 2—3, ja nur noch eine einzige Wimper besitzen, dieselben Thatsachen constatiren.

Beim Zerschneiden der Infusorien, noch häufiger aber beim Zerdrücken mit dem Deckglas kommt es bisweilen vor, dass die Theilstücke von der Wundstelle her zu zerfliessen beginnen, ein Vorgang, den ich, da er als Endproduct einen losen Körnerhaufen liefert, a. a. O. als körnigen Zerfall bezeichnet habe. Der körnige Zerfall schreitet mehr oder weniger schnell von der Wundfläche aus vorwärts. Beobachtet man nun bei Spirostomum ein Theilstück des Peristoms, welches zu zerfallen beginnt, so findet man, dass während der Zerfall langsam von der Wunde aus nach der Wimperreihe hin vorrückt, die Wimpern noch immer in normaler Thätigkeit bleiben und ihre regelmässigen, metachronen Bewegungen fortsetzen. Die Grenze des zerfallenden Protoplasmas ist ziemlich scharf und man kann ihr Vorrücken genau verfolgen. Solange nur noch ein ganz kleines Streifchen unzerfallenen Protoplasmas an der Basis der Wimpern vorhanden ist, dauert die Thätigkeit derselben fort. Im Moment aber, wo der Zerfall die Pellicula, d. h. die äussere Grenzschicht des Protoplasmas erreicht, hört augenblicklich die Bewegung der daraufstehenden Wimpern auf. Da die Grenze nie eine grade Linie darstellt, so erreicht sie an einzelnen Stellen früher, an anderen später die Pellicula. So

kann man an der Oberfläche häufig die einzelnen Wimpern nacheinander mitten in ihrer lebhaften Thätigkeit stillstehen sehen. Mit dem Zerfall des ganzen Stückes lösen sich auch die Wimpern los und bleiben, ohne je wieder eine Spur von activer Bewegung zu zeigen, vollkommen ruhig im Wasser liegen. Auch durch schnelles Zerdrücken habe ich bei Vorticella und Spirostomum häufig ganz plötzlich einzelne der langen Peristomwimpern vom Körper losgerissen, die im Moment der Trennung sofort ihre Bewegung einstellten. Diese seit mehreren Jahren öfter beobachteten Erscheinungen hatten in der Frage nach der spontanen Bewegungsfähigkeit isolirter Wimpern meine Ueberzeugung bereits gebildet, dass den Wimpern, ebensowenig wie z. B. den Stielmyoïden der Vorticellen eine eigene Bewegungsursache innewohne, dass sie vielmehr Bewegungen nur im Zusammenhange mit dem dazugehörigen Protoplasma ausführen können, d. h. dass die Ursachen für ihre Bewegung nicht in den Wimpern selbst, sondern im daranhängenden Protoplasma gelegen ist.

Bekanntlich hat die Frage nach der Autonomie isolirter Flimmerhaare sich angeklammert an die öfter beobachtete Thatsache, dass sich Schwänze von Spermatozoën nach ihrer Lostrennung vom übrigen Körper noch spontan zu bewegen im Stande sind. Man hat den Schwanz des Spermatozoons ohne Weiteres mit der Geissel eines flagellaten Infusors homologisiren zu dürfen geglaubt. Mir scheint diese Homologie mindestens nicht sicher. Zwischen Protoplasma des Spermatozoën-Körpers und -Schwanzes besteht entschieden keine so scharfe Differenzirung wie zwischen dem Körperprotoplasma und der Geissel der flagellaten Infusorien. Ich möchte mich der Ansicht Engelmanns anschliessen, der die Schwänze der Spermatozoën eher mit Protoplasmafäden verglichen wissen will, wie sie z. B. als unregelmässig pendelnde Pseudopodien bei manchen Rhizopoden beobachtet werden. Jedenfalls dürften die Beobachtungen an Spermatozoën nicht für die Frage nach der Autonomie isolirter Wimpern als entscheidend zu betrachten sein. Da indessen die Frage immer noch nicht begraben ist und sogar in der neueren Litteratur noch bisweilen erscheint, so glaubte ich bei dem für ihre Behandlung so ungemein geeigneten Material, wie es die langen Wimperhaare der Ctenophoren-Schwimmplättchen bieten, derselben noch einmal näher treten zu sollen.

In den betreffenden Versuchen wurden lebensfrische, isolirte

Schwimmplättchen oder schmale Streifen von solchen, die in rhythmischer Thätigkeit begriffen waren, unter dem Mikroskop im offenen Tropfen oder im Uhrschälchen in der Weise durchgeschnitten, dass das Basalpolster ziemlich dicht an der Basis von der verklebten Wimpermasse möglichst scharf abgetrennt wurde. Die Folge war stets, dass die isolirten Wimpern im Moment der Durchschneidung jede Bewegung einstellten, während die Stümpfe auf dem Basalpolster infolge der Reizung des Schnittes häufig in einem beschleunigten Tempo weiter schlugen. Da man bei diesem Versuch mit negativem Resultat den Einwurf machen kann, dass aus irgend welchen anderen Gründen zufällig im einzelnen Fall die Thätigkeit der isolirten Wimpern ausbliebe, so habe ich den Versuch wohl fast hundert Mal wiederholt und jedesmal mit demselben Erfolge. Häufig sterben die isolirten Wimpern, wenn man sie auf dem Objectträger lässt, schon nach ganz kurzer Zeit, was sofort daran zu erkennen ist, dass ihre Substanz trübe braun und undurchsichtig wird. Makroskopisch sehen die abgestorbenen Plättchen weisslich aus und haben ihren Perlmutterglanz verloren. Unter geeigneten Bedingungen, in viel Wasser im Uhrschälchen gelingt es indessen, die Wimpern noch längere Zeit unverändert in ihrer normalen Beschaffenheit zu erhalten, ohne dass auch nur eine Spur von activer Bewegung an ihnen wahrzunehmen wäre. Ist dagegen bei der Durchschneidung selbst nur ein winziges Stückchen Protoplasma, ein kleines Fetzchen einer Zelle an einem Wimperbündel haften geblieben, so schlagen die Wimpern häufig noch längere Zeit weiter. Ich erhielt bei vorsichtiger Operation mehrmals Bündel, die aus wenigen verklebten Wimpern von ca. 1 mm Länge bestanden, an deren Basis sich ein kleines Knöpfchen von Protoplasma von ca. 0,02—0,03 mm Durchmesser befand. Diese Wimpern schlugen noch einige Minuten rhytmisch, wenn auch langsam weiter. Nur Stücke, die bei der Durchschneidung zu sehr insultirt werden, schlagen, selbst wenn sie noch Protoplasma an der Basis besitzen, in der Regel nicht mehr.

Wenn ich einerseits die grosse Anzahl der Versuche in Betracht ziehe, welche sämmtlich zu dem gleichen negativen Ergebniss führten, und andrerseits die Gegenprobe berücksichtige, welche durch die häufig beobachtete Bewegung von Wimpern mit geringer Menge basalen Protoplasmas gegeben ist, und wenn ich endlich noch die zahlreichen Versuche an Infusorien ins Auge fasse, die

ebenfalls denselben Erfolg hätten, so glaube ich mich zu dem Schlusse berechtigt, dass isolirte Wimpern keine spontanen Bewegungen mehr ausführen, dass also die Ursache für die Wimperbewegung im Zellprotoplasma gelegen ist.

Nun wäre es eine durchaus verkehrte Anschauung, wenn man annehmen wollte, dass die Wimpern nur passiv vom Protoplasma bewegt würden, ohne activ thätig zu sein. Zur Widerlegung dieser Ansicht genügt es, die Formveränderungen, welche eine Wimper resp. ein Wimperplättchen bei seiner Bewegung ausführt, genauer zu verfolgen, was grade bei den grossen Wimpern der Schwimmplättchen sehr leicht ist. Wie bereits bemerkt, sind die Plättchen in der Ruhelage an ihrer Wurzel nach dem Mundpol des Thieres hin umgebogen und liegen dachziegelförmig sich berührend über einander. Im Profil betrachtet hat das ruhende Plättchen die Gestalt von Fig. 4a. Es ist eine Krümmung von kleinem Radius dicht über der Basis und eine Krümmung in entgegengesetztem Sinne von grossem Radius im oberen Drittel des Plättchens vorhanden. Bei der progressiven Phase jedes Schlages streckt das Plättchen sich nun an der basalen Krümmungsstelle sehr energisch, während gleichzeitig durch den Wasserdruck anfangs auch die obere Krümmung einen grösseren Radius annimmt, so dass ein Moment eintritt, wo das Plättchen fast gestreckt erscheint. Aber noch ehe die extreme Lage erreicht ist, wird die obere Krümmung wieder grösser, ihr Radius also kleiner. Ist die extreme Lage erreicht, so wird der Radius der oberen Krümmung durch den Druck des Wassers noch kleiner. Zugleich krümmt sich das Plättchen wieder an der Basis und wenn es dadurch in die Ruhelage zurückgekehrt ist, wird auch die obere Krümmung wieder kleiner, so dass das Plättchen wieder die normale Gestalt annimmt. Die Grösse dieser Formveränderung ist verschieden und nach ihr richtet sich die Amplitude der Bewegung. Aus der Art dieser Formveränderung geht deutlich hervor, dass die Bewegung der Wimper nicht passiv zu Stande kommen kann, sondern dass in der progressiven Phase des Schlages eine Contraction der dem Sinnespol zugekehrten Seite der Wimpern stattfindet, die in Gestalt einer Welle von unten nach der Spitze zu verläuft. In der regressiven Phase lässt die Contraction wieder nach und zwar in derselben Richtung. Eine Contraction der dem Mundpol zuge-

kehrten Seite der Wimpern in der regressiven Phase des Schlages ist aus den Formveränderungen beim normalen Schlage nicht zu entnehmen. Dieselbe ist auch unwahrscheinlich, da um den locomotorischen Effect nicht wieder aufzuheben, die Rückkehr in die Ruhelage nothwendiger Weise langsamer geschehen muss. Aus

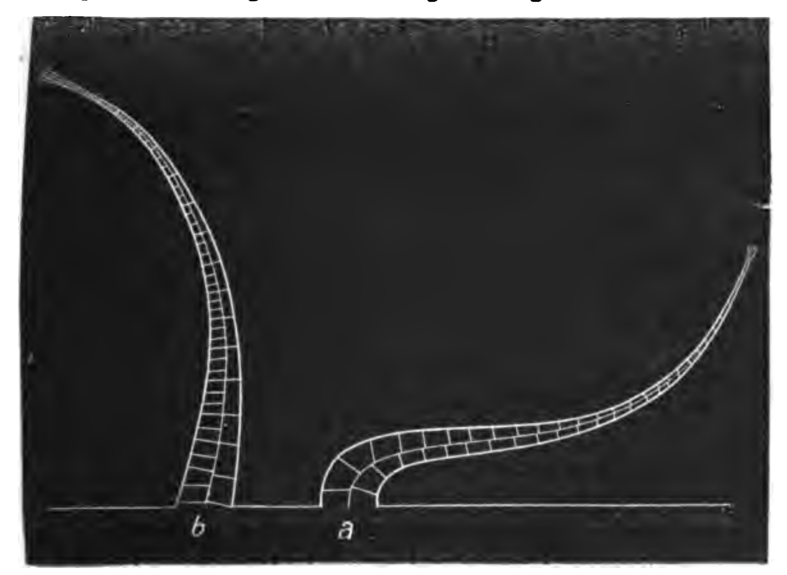


Fig. 4.

Fig. 4 a. Gestalt eines Plättchens in der Ruhelage. Profilansicht.

Fig. 4 b. Gestalt desselben in der extremen Lage der progressiven Schwingungsphase.

In den Umriss ist ein Schema der Gestaltveränderung der Reihe beider Seiten des Schwimmplättchens eingezeichnet. In der Ruhelage sind die contractilen Elemente auf beiden Seiten in gleicher Grösse gezeichnet. Beim Schlag contrahiren sich die Theilchen auf der dem Sinnespol zugekehrten Seite, während die auf der Gegenseite durch die convexe Krümmung etwas gestreckt werden.

mechanischen Gründen leuchtet ferner ein, dass die Existenz der beiden entgegengesetzten Krümmungen in Verbindung mit dem wellenförmigen Verlauf der Contraction von unten nach oben für den Effect des Schlages von grosser Bedeutung ist. Auf Grund der activen Bewegung der Wimpern im Zusammenhange mit dem Protoplasma wird man also ihr Verhältniss zum Zellkörper in derselben Weise aufzufassen haben, wie etwa das der Stielmyoïde zum Körper der Vorticellen.

Den Thatsachen gegenüber, die ich im Vorhergehenden zur Constatirung der Autonomie der Theile von Flimmerorganen mitgetheilt habe, könnte man vielleicht noch die Möglichkeit erwägen, ob die Bewegung der Theile nach ihrer Trennung aus der Continuität nicht lediglich Reizwirkung sei, verursacht durch den Reiz der Lostrennung, und dass die Autonomie nur dem unverletzten Ganzen als solchem zukomme. Sollte dieser Einwand wirklich erhoben werden, so liesse er sich leicht widerlegen. Einerseits ist die Wirkung des Reizes der Operation sowohl bei Ctenophoren als bei Infusorien sehr deutlich zu erkennen und von der normalen Erscheinungsweise der Bewegung zu unterscheiden. Die Reizwirkung besteht immer in einer bedeutenden Beschleunigung der Flimmerbewegung, die bei Ctenophoren sogar durch eine mehr oder weniger lange Pause, jedenfalls in Folge der Ermüdung, von dem Wiederauftreten der normalen Bewegung getrennt ist. Andrerseits dürfte die Thatsache, dass sich kleine losgerissene Theile von Infusorien, ebenso wie Stücke von Ctenophoren mit nur 3—4 Schwimmplättchen unter günstigen Verhältnissen noch über 2 Tage, ganze Beroës, denen der Sinnespol und damit der Anfangstheil der Plättchenreihen abgeschnitten ist, noch über 2 Wochen in normaler Bewegung am Leben halten lassen, einen Zweifel an der Spontaneïtät dieser Bewegungen wohl völlig beseitigen.

III. Die Metachronie der Flimmerbewegung.

Besteht auf der einen Seite Autonomie selbst der kleinsten isolirten Theile, soweit sie ein Flimmerelement repräsentiren, so steht derselben auf der andern Seite die Metachronie der Bewegung im zusammenhängenden Organ gegenüber. Sie steht ihr gegenüber, denn es ist zunächst nicht einzusehen, weshalb die einzelnen Elemente, wenn sie doch in ihren Bewegungen autonom sind, sich nicht regellos jedes für sich bewegen, sondern alle nur in bestimmter Aufeinanderfolge. Schlägt die eine Wimper oder Platte, so schlägt auch die folgende, steht die eine still, so steht auch die folgende still. So lange nicht von der ersten Wimper oder Platte eine Bewegung ausgeht, ist die ganze Reihe ohne Bewegung. Da die Elemente unmöglich im Verbande mit benachbarten Elementen die bewegungsproducirende Ursache selbst einbüssen können, so beweist die Metachronie, dass die Autonomie

der einzelnen Elemente im Verbande bis zu gegebener Gelegenheit unterdrückt ist. Das Latentbleiben der Autonomie jedes Elements, so lange sich nicht das vorhergehende Element bewegt hat, ist aber nothwendige Vorbedingung für das Zustandekommen der Metachronie. Das Problem der Metachronie enthält demnach zwei Fragen, einmal diejenige nach der Art und Weise der Unterdrückung der Autonomie und ferner die nach der Art und Weise der Fortpflanzung der Bewegung von einem Flimmerelement auf das andere. In Bezug auf die erstere Frage hatte ich bereits l. c. p. 183 u. ff. die Ansicht ausgesprochen, dass sich die Aufhebung der Autonomie nur erklärt unter der Annahme eines mechanischen Abhängigkeitsverhältnisses jedes Elements vom benachbarten, welches jede einzelne, zwischen zwei benachbarte eingeschlossene Wimper verhindert, für sich allein eine Bewegung auszuführen. Zugleich war es mir gelungen, die Ansicht von einer mechanischen Abhängigkeit zu stützen und besonders ihren Sitz festzustellen. Macht man nämlich an der oralen Wimperreihe eines grossen heterotrichen Infusors (Spirostomum oder Stentor) eine dem Eimer'schen Durchschneidungsversuche der Ctenophorenrippe entsprechende Operation, indem man die adorale Wimperzone in die Mitte nur flach einschneidet, ohne das Infusor ganz zu durchschneiden, so findet man, dass die Bewegung im oberen und unteren Abschnitt der Wimperreihe unabhängig stattfindet, was besonders bemerkbar wird, wenn der eine Abschnitt seine Wimpern in anderer Amplitude und Geschwindigkeit schlagen lässt, so dass die Länge der Wellen dadurch von der im anderen Abschnitt deutlich verschieden wird. Dieser Versuch zeigt, dass der Mechanismus, welcher das Abhängigkeitsverhältniss der Wimpern von einander bedingt, in dem Basalprotoplasma der Wimpern, nicht an einer andern Stelle des Zellkörpers gelegen sein muss.

Meine jetzigen Beobachtungen und Versuche über die Fortpflanzung der Bewegung auf den Rippen der Ctenophoren geben nun der Ansicht vom Vorhandensein einer solchen mechanischen Vorrichtung eine neue Stütze und zeigen, dass sich die beiden Fragen, welche dem Problem der Metachronie zu Grunde liegen, aus einem einheitlichen Princip beantworten lassen. Die Vorstellung von der Art des Abhängigkeitsverhältnisses der Wimpern gewinnt dadurch eine festere und präcisere Form. Ehe ich jedoch zur Mittheilung der bezüglichen Versuche übergehe, scheint

es mir zweckmässig, erst einige Wirkungen der Reize auf die Bewegungen der Schwimmplättchen zu besprechen.

Reizwirkungen. Die Wirkungen von Reizen auf Flimmerepithelien sind schon von Kraft[1]) ausführlich dargestellt worden, so dass ich mich hier bezüglich der Ctenophorenrippen kurz fassen kann.

Berührt man an einer in Ruhe befindlichen Rippe bei Beroë an irgend einer Stelle ein Plättchen momentan mit einer Nadel und zwar nicht zu stark, damit keine Retraction eintritt, so führt das gereizte Plättchen einen Schlag aus, der sich auf alle oralwärts gelegenen Plättchen fortpflanzt und so zur Erscheinung einer von der Reizstelle oralwärts verlaufenden Welle Anlass giebt. Die nach dem Sinnespole zu gelegene Strecke der Rippe bleibt dabei in Ruhe. Berührt man mehrmals hintereinander, so erzielt man mehrere Wellen, da jede Berührung einen neuen Schlag auslöst. Eine rhythmisch fortgesetzte Berührung kann auf diese Weise ganz rhythmische Wellen erzeugen, die sich sämmtlich oralwärts fortpflanzen. Wird das Plättchen nicht einen Moment, sondern längere Zeit continuirlich berührt, so geräth dasselbe während der ganzen Dauer der Berührung in lebhafte rhythmische Schwingungen, die sich als ebenso viele Wellen oralwärts fortsetzen. Bei etwas stärkerer dauernder Berührung geräth die gereizte Platte in eine förmliche rhythmische Zitterbewegung. Reizt man noch stärker, so tritt in der Regel die oben angeführte Retraction der gereizten Stelle ein, die nur bei weniger reizbaren Thieren ausbleibt. Indessen kann man auch die zu Retractionen geneigteren Individuen mit einiger Geduld durch immer von Neuem wiederholte Berührung derselben Stelle schliesslich dazu bringen, dass die Retraction ausbleibt. Ist dies der Fall, so bemerkt man häufig bei starker Reizung, namentlich der Basis des Plättchens, dass nicht nur oralwärts Wellen verlaufen, sondern dass sich auch Wellen in entgegengesetzter Richtung fortpflanzen, indem die von der Reizstelle aus nach dem Sinnespol gelegenen Plättchen in umgekehrter Reihenfolge ihre Schläge ausführen, so dass die Reizstelle den Ausgangspunkt zweier nach beiden Richtungen verlaufender Wellensysteme bildet. Die Bewegung und Formveränderung und in Folge dessen auch der ev. locomotorische Effect ist dabei in beiden

1) H. Kraft: „Zur Physiologie des Flimmerepithels bei Wirbelthieren." In Pflügers Archiv Bd. 47. 1890.

Richtungen derselbe, doch pflanzen sich die Wellen nach dem Sinnespol zu stets viel langsamer fort und verlaufen meist nicht bis an das Ende der Rippe, sondern nur eine kürzere Strecke aufwärts. Es stimmt diese Erscheinung vollkommen mit der von Kraft (l. c.) an Flimmerepithelien der Wirbelthiere beobachteten Reizwirkung überein, bei denen sich auch die Beschleunigung der Bewegung nach aufwärts nur auf kürzere Entfernung fortsetzt. Die Erscheinung der rückläufigen Wellen habe ich bei unverletzten Thieren, welche nicht in irgend einer Weise gereizt waren, niemals bemerkt. Dagegen habe ich sie bisweilen beobachtet an operirten Thieren und an Thieren, die in Wasser von anderer Temperatur oder Concentration gesetzt worden waren. Besondere Neigung, als Ausgangspunkt rückläufiger Wellen zu dienen, hat das letzte Plättchen einer Rippe bei operirten oder in ihrer Totalität gereizten Individuen. Man kann bei solchen öfter beobachten, wie sowohl vom Sinnespol als vom Mundpol Wellen ausgehen, die an irgend einem Punkt zusammentreffen und hier dann gewöhnlich erlöschen; manchmal aber überwiegen die vom Sinnespol kommenden Wellen und laufen dann nach dem Zusammentreffen noch bis an den Mundpol weiter, während die vom Mundpol kommenden nach dem Zusammentreffen erlöschen. Die Erscheinung der rückläufigen Wellen dürfte lediglich als Reizwirkung aufzufassen sein und scheint unter normalen Bedingungen nicht spontan vorzukommen.

Wie gross die Reizbarkeit der Plättchen ist, erläutert die folgende Beobachtung, die ich besonders häufig an Eucharis gemacht habe. Wie oben mitgetheilt, schlägt einige Zeit nach einer zwischen zwei Plättchen ausgeführten Continuitätstrennung einer Rippe der oralwärts gelegene Abschnitt derselben in einem Tempo weiter, das von dem des anderen Abschnitts unabhängig ist. Ist nun durch die Continuitätstrennung keine sehr breite Wunde gemacht worden, so kann man, was Eimer (l. c.) bereits bei seinen Versuchen gesehen hat, beobachten, dass nach kurzer Zeit die vom Sinnespol kommenden Wellen wieder ungehindert über die Schnittstelle verlaufen, dass die Metachronie der ganzen Reihe wieder hergestellt ist, während andrerseits eigene Wellen, die während des Stillstandes des oberen Abschnittes von der Schnittstelle nach dem Mundpol verlaufen, zeigen, dass noch eine gewisse Unabhängigkeit in der Bewegung des unteren Abschnitts besteht. Bei

genauerer Untersuchung des Verhältnisses stellt sich Folgendes heraus. Wie bereits bemerkt, berühren sich an der unverletzten Rippe die dachziegelförmig übereinander liegenden Plättchen. Bei einer schmalen Continuitätstrennung tritt nun bei den fortwährenden schwachen Körpercontractionen des Thieres nach kurzer Zeit ein Aneinanderrücken der beiden von einander getrennten Platten ein, welches wieder bis zur Berührung der beiden Plättchen führt. Sobald die Berührung hergestellt ist, laufen die vom Sinnespol kommenden Wellen wieder über die Schnittstelle fort. Andrerseits kann auch das erste Plättchen des oralen Abschnitts bei Stillstand des oberen selbst Ausgangspunkt eigener Wellen werden. Rücken aber in Folge von Streckungen des Thieres die beiden Wundränder wieder weiter von einander ab, so ist die Metachronie an der Schnittstelle wieder unterbrochen. Dieses Verhältniss kann alle Augenblicke wechseln. Später indessen, häufig schon nach 5—6 Stunden, tritt eine Verheilung der Wunde ein und die Trennung der beiden Plättchen verschwindet wieder vollkommen auf regenerativem Wege. Alsdann verhält sich die operirte Rippe in jeder Beziehung wieder wie eine unverletzte. Das Verhalten der beiden getrennten Plättchen vor der definitiven Heilung zeigt also, dass die blosse Berührung des einen Plättchens durch den Schlag des anderen genügt, um an ersterem selbst einen Schlag auszulösen, der als Welle dann oralwärts verläuft. Diese grosse Reizbarkeit führte mich zu der Idee, dass es durch geeignete Uebertragung der Bewegung des oberen Abschnittes auf den unteren auch bei einer sehr breiten Wunde gelingen müsse, in dem letzteren, wenn er vorher in Ruhe war, gleichrhythmische Bewegungen zu erzeugen, resp. dass es sogar möglich sein müsse, die Bewegung von dem oberen Abschnitt einer Rippe nach dem unteren, in Ruhe befindlichen Abschnitt einer anderen Rippe zu übertragen. Nun stösst eine geeignete Uebertragung der Bewegung, d. h. eine genügend feine äussere mechanische Verbindung zweier weit von einander getrennter Plättchen auf grosse technische Schwierigkeiten, und es gelang mir trotz grosser Geduld nur drei Mal, dieselbe in ausreichender Weise herzustellen. Die Verbindung wurde theils durch Schleimfäden, wie sie sich an Wunden des Thieres bilden, theils durch feine Baumwollfasern hergestellt, welche sich wegen ihrer Fähigkeit, leicht haften zu bleiben, unter günstigen Umständen so anbringen lassen, dass sie bei der Be-

wegung des oberen Plättchens einen Zug auf das untere resp. das einer anderen Rippe ausüben. In den Fällen, wo es gelang, diese Verbindung herzustellen, zeigte sich denn auch in der That, dass der vorher in Ruhe befindliche untere Abschnitt jetzt mit dem oberen in gleichem Tempo zu schlagen begann, indem das gereizte Plättchen durch seine Schläge Ausgangspunkt für abwärts verlaufende Wellen wurde. Wurde die Bewegung im oberen Abschnitt spontan oder durch Reizung des Sinnespols momentan sistirt, so war auch die im unteren Abschnitt erloschen, trat sie oben wieder ein, so geschah dies auch unten, bis allmählich eine Verschiebung des Fädchens und damit eine Lösung der mechanischen Verbindung eintrat.

Die letzten Thatsachen führen den Gang der Untersuchung wieder auf die Frage nach dem Modus der Fortpflanzung der Bewegung von einem Element auf das andere zurück. Offenbar muss nämlich die Erscheinung, dass die blosse Berührung eines Plättchens durch den Schlag eines anderen mit ihm protoplasmatisch nicht unmittelbar zusammenhängenden genügt, um dieses selbst zu einem Schlage zu veranlassen, die Vermuthung sehr nahe legen, dass die Reizübertragung und somit die Fortpflanzung der Bewegung auch auf der unverletzten Rippe nur durch diese äussere Reizung bei der Berührung zu Stande kommt. Diese Vermuthung gewinnt noch mehr an Boden, wenn man berücksichtigt, dass das Princip der Berührung der Flimmerelemente im ganzen Verlauf der Rippen streng durchgeführt ist, und dass schon vom Sinneskörper an, wo die Bewegung der Aufhängefedern des sog. Otolithenkörpers den Ausgangspunkt für die über die Rippen verlaufenden Wellen bildet, eine lediglich durch Flimmerzellen hergestellte Verbindung mit dem ersten Plättchen jeder Rippe die Bewegungsübertragung vermittelt. Diese Vermuthung würde unter der Voraussetzung eines die Autonomie unterdrückenden Mechanismus die Erscheinung der Metachronie ohne Weiteres erklären. Es war mir daher dringend erforderlich, diese Vermuthung durch Versuche über die weiteren Verhältnisse der Bewegungsleitung experimentell entweder zu beweisen oder zu widerlegen.

Die Versuche über die Bewegungsleitung hatten ihren Ausgangspunkt in der Beobachtung einer Erscheinung, die bei der oben beschriebenen Reizretraction der Rippen eintritt. Berührt man nämlich mit einer Nadel eine in Bewegung befindliche Rippe in

ihrer Mitte so, dass nur eine locale Retraction stattfindet, so bemerkt man, dass die ungestört vom Sinnespol kommenden Wellen an der Retractionsstelle erlöschen, ohne auf dem oralwärts gelegenen Abschnitt der Rippe wieder zum Vorschein zu kommen, obwohl hier nicht die geringste Retraction besteht. Durch andauernd und vorsichtig ausgeübte locale Reizung lässt sich die gereizte Stelle lange Zeit in Retraction erhalten, ohne dass während dieser Zeit die vom Sinnespol kommenden Wellen sich unterhalb der Retractionsstelle fortsetzten. Erst nachdem die Reizung aufgehoben ist und die retrahirte Stelle allmählich wieder ganz hervorgetreten ist, so dass die Plättchen derselben nun selbst wieder mitschlagen können, laufen die vom Sinnespol kommenden Wellen wieder continuirlich über die ganze Rippe fort. Die erste von oben kommende Welle, welche die Retractionsstelle wieder passiren kann, ist auch die erste, welche den unteren Abschnitt wieder passirt.

Nach dieser Beobachtung sind für das Ausbleiben der Wellen an dem oralwärts gelegenen Abschnitt der Rippe nur zwei Ursachen möglich. Entweder ist durch die mechanische Wirkung der Retraction eine etwaige innere Leitung in den Zellen der Basalpolster unterbrochen, so dass eine vom Sinnespol kommende Reizwelle nicht über die Retractionsstelle fortlaufen kann, oder das Stillstehen der Plättchen an sich ist die Ursache, weshalb sich die Bewegung nicht auf den oralen Abschnitt der Rippe fortsetzt. Die erstere Möglichkeit hat schon von vornherein wenig Wahrscheinlichkeit für sich, wenn man die ungemeine Zartheit und Weichheit des sog. Gallertgewebes, die besonders Eucharis auszeichnet, berücksichtigt. Es ist nicht wohl anzunehmen, dass eine protoplasmatische Leitung, die man sich wie eine Nervenleitung vorstellt, durch diesen verschwindend kleinen Druck unterbrochen werden soll, während man von Nerven weiss, dass sie sogar ziemlich stark gezerrt und gequetscht werden können, ohne ihre Leitungsfähigheit einzubüssen. Auch das sofortige Wiedereintreten der Bewegung, im selben Momente wo die Retraction erloschen ist, spricht dagegen, dass das Aussetzen der Bewegung auf einer durch mechanischen Insult bedingten Unterdrückung einer nervenähnlichen Leitung beruht. Indessen lässt sich auch experimentell beweisen, dass es nicht Unterdrückung einer nervenähnlichen Leitung ist, welche die Bewegung nicht weiter fortschreiten lässt, sondern lediglich

die Hinderung des Plättchenschlages. Bei nicht allzu erregbaren Thieren lässt sich nämlich folgender Versuch leicht ausführen. Das Versuchsthier, eine Beroë, liegt in einem flachen Gefäss und zwar so, dass man von oben gerade die Profilansicht einer in Bewegung befindlichen Rippe hat. Führt man nun vorsichtig die Spitze einer nur etwa Millimeter breiten dünnen Lanzette zwischen zwei Plättchen ein und biegt man das eine Plättchen in der Richtung nach dem Sinnespol soweit zurück, wie es selbst bei grösster Amplitude zu schlagen pflegt, so kann man seine Bewegung rein äusserlich verhindern, ohne dass die leiseste Retraction erfolgt. Die Wirkung ist nun die, dass, wenn das Plättchen vollkommen an jeder Bewegung verhindert ist, die Wellen an dieser Stelle stehen bleiben und sich nicht auf das nächste Plättchen fortsetzen. Der orale Abschnitt verharrt, so lange das Plättchen festgehalten wird, in vollkommener Ruhe. Im Moment aber, wo man das Plättchen fallen lässt, laufen auch ungehindert die vom Sinnespol kommenden Wellen wieder über die ganze Rippe fort. Der Versuch gelingt bei einiger Vorsicht, so oft man ihn auch anstellt, mit einer Exactheit, wie man sie überhaupt nur wünschen kann. Bei wenig zu Retractionen geneigten Thieren kann man sogar das Plättchen mit einer feinen Pincette festhalten, anstatt es mit der Lanzette zurückzubiegen. Fixirt man es aber, sei es durch Pincette oder Lanzette nicht vollkommen in seiner extremen Lage, so dass es noch ganz kleine Excursionen zu machen im Stande ist, so laufen die vom Sinnespol kommenden Wellen ungestört über dasselbe hinweg bis an das Ende der Rippe. Statt das Plättchen rückwärts, d. h. nach dem Sinnespol zu biegen, kann man es auch sanft in seine Ruhelage niederdrücken, wobei die Wellen ebenfalls, wenn die Bewegung des Plättchens ganz gehindert wird, hier Halt machen, wenn sie nur etwas eingeschränkt wird, dagegen ungehindert bis zu Ende der Rippe verlaufen. Auf beide Weisen kann man auch leicht das Plättchen in eine solche Lage bringen, dass es bei der Möglichkeit, sich noch zu bewegen, doch das nächste Plättchen nicht berührt resp. vom vorhergehenden nicht berührt werden kann, sondern dass zwischen beiden ein ziemlich weiter Abstand bleibt. In diesem Fall läuft ebenfalls jede Welle wie im normalen Zustande über die ganze Rippe hinweg. Man kann die gegenseitige Berührung der Plättchen auch verhindern,

indem man mit der Pincette nur die Spitze des Plättchens festhält, während der Basis noch genug Spielraum für ihre Bewegung bleibt. Der Erfolg ist dann derselbe. Diese Versuche entscheiden über die oben aufgeworfene Frage nach der äusseren Bewegungsleitung, indem sie zeigen, dass die äussere Berührung der Plättchen nicht nöthig ist, um die Bewegung von einem auf das andere zu übertragen.

Wird bei reizbareren Individuen das betreffende Plättchen nicht ganz in einer seiner extremen Schwingungslagen fixirt, so geräth es häufig in Folge der Reizung in schnellere Schwingungen, die sich alle als Wellen oralwärts fortsetzen. Es ist dies der schon oben unter den Reizwirkungen beschriebene Fall. Auch bei völliger Fixirung des Plättchens, aber nur an sehr reizbaren, namentlich eben eingefangenen Exemplaren kann man in Folge stärkeren Niederdrückens bisweilen beobachten, dass das nächstfolgende Plättchen in lebhafte Schwingungen geräth, die natürlich auch oralwärts weiterverlaufen, aber in ihrem Rhythmus von den ruhigen, vom Sinnespol kommenden Wellen des oberen Abschnitts völlig unabhängig sind. Dass dies Wirkungen der durch das Fixiren des Plättchens bedingten Reizung sind, wird ohne weiteres klar, nachdem man die Wirkungen der Reize kennen gelernt hat; besonders wurde oben bereits gezeigt, dass in Folge stärkerer Reizung die Metachronie des Schlages an der Reizstelle unterbrochen wird.

Wenn aus den vorhergehenden Versuchen, die an Beroë und Eucharis angestellt wurden, folgt, dass bei dem normalen Schlagen der Plättchen einer ungereizten Rippe die Bewegung jedes vorhergehenden Plättchens nöthig ist, damit das folgende seine Bewegung ausführen kann, so kann ich hier das abweichende Verhalten von Cestus Veneris, der sich überhaupt wegen der eigenthümlichen, durch seine langgestreckte Gestalt bedingten Anordnung seiner Plättchen weniger zu diesen Versuchen eignet, nicht unerwähnt lassen. Ich beobachtete nämlich mehrmals, dass trotz des Fixirens eines Plättchens bei Cestus doch die Wellen über die betreffende Stelle ungestört hinwegliefen, eine Erscheinung, die mich um so mehr in Erstaunen setzte, als bei den beiden andern Formen, Beroë und Eucharis, die Versuche ohne Ausnahme stets mit der grössten Sicherheit zu dem oben geschilderten Ergebniss führten. Ich fand indessen bald,

dass Cestus überhaupt nicht zu diesen Versuchen benutzt werden kann, und zwar aus folgendem Grunde. Man kann nämlich bei manchen Exemplaren dieser Form mit der Pincette ein, ja sogar zwei Plättchen vollständig ausreissen, ohne dass die vom Sinnespol kommenden Wellen dadurch an der betreffenden Stelle eine Unterbrechung erfahren. Dass die Zellen des Basalpolsters dabei an den ausgerissenen Plättchen haften bleiben, und nicht an der Rippe, zeigt die mikroskopische Untersuchung. Wenn also sogar die Lostrennung der Flimmerzellen selbst die Wellen nicht an der Fortpflanzung hindert, so kann es nicht auffallen, wenn das äusserliche Fixiren des Plättchens keinen anderen Erfolg hat. Jedenfalls aber geht aus dieser Thatsache hervor, dass bei Cestus neben den Zellen des eigentlichen Plättchens noch eine andere Flimmerleitung vorhanden sein muss, worauf besonders auch die Thatsache hinweist, dass eine quere Durchtrennung der Rippenbasis die Metachronie sofort unterbricht. Nun ist von Chun bereits beschrieben worden, dass neben und zwischen den Plättchen bei jungen Exemplaren von Cestus noch continuirliche Streifen von Flimmerzellen bestehen. Nach dieser Angabe ist es mir im Hinblick auf das eben geschilderte abweichende Verhalten von Cestus kaum zweifelhaft, dass auch bei mittelgrossen Exemplaren, wie sie von mir zu den Versuchen benutzt wurden, ebenfalls noch eine solche neben den Plättchen bestehende Flimmerleitung vorhanden ist, und dass sich eine solche, wenn auch vielleicht rudimentär, event. selbst noch an ganz erwachsenen Individuen finden dürfte. Sicherlich aber zeigt die Möglichkeit, ein Plättchen ohne Unterbrechung der Metachronie auszureissen, dass das Verhalten von Cestus nicht als ein Einwand gegen den obigen, sich aus der Untersuchung von Beroë und Eucharis ergebenden Schluss benutzt werden kann.

Zum Schluss mögen noch einige kurze Bemerkungen Platz finden über das Verhalten der Amplitude bei der metachronen Bewegung der Schwimmplättchen einer Rippe. Bei der ungestörten Thätigkeit einer Rippe schwingen die einzelnen Plättchen alle mit derselben Amplitude. Wird aber ein Plättchen auf die oben beschriebene Weise in eine solche Lage gebracht, dass es nur noch mit sehr geringer Amplitude schwingen kann, so ist oralwärts von demselben nur in den allernächsten Plättchen die Amplitude ebenfalls verringert, gleicht sich aber weiter abwärts sehr schnell aus,

so dass schon dicht hinter der betreffenden Stelle die normale Amplitude wieder besteht, wie sie die ganze übrige Reihe zeigt. Dieselbe Erscheinung kann man bisweilen sehr schön beobachten an Rippen, welche in ihrer Mitte zur Retraction veranlasst worden waren. Wenn sich die Retraction zu lösen begonnen hat, so kommt ein Zeitpunkt, an welchem die betreffenden Plättchen bereits wieder anfangen zu schlagen, aber noch nicht ihre normale Amplitude entfalten können, da die noch nicht völlig verschwundene Retraction sie noch in ihrer Bewegung einschränkt. Wenn auch dieser Zustand meist nur wenige Secunden dauert, so genügt diese Zeit doch, um zu sehen, wie von der Retractionsstelle aus oralwärts sich die kleine Amplitude ziemlich schnell wieder zu ihrem normalen Umfange ausgleicht, so dass von der Retractionsstelle aus nur wenig oralwärts bereits wieder dieselbe Amplitude besteht, wie an dem nach dem Sinnespol gekehrten Abschnitt der Rippe.

IV. Zur Theorie der Flimmerbewegung.

Nachdem durch die im Vorstehenden mitgetheilten Beobachtungen und Versuche eine Reihe von Thatsachen gewonnen ist, erübrigt es nun, dieselben für die Gestaltung unserer Ansichten von der Flimmerbewegung zu verwerthen. Die Frage, welche besonders nahe betroffen wird, ist die nach der Uebertragung der Bewegung von einem Element auf das andere, mit anderen Worten die Frage nach dem Zustandekommen der Metachronie. Das Problem ist offenbar dasselbe für die Elemente einer einzigen Flimmerzelle, wie sie z. B. die adorale Wimperzone der ciliaten Infusorien repräsentirt, wie für die Elemente eines Verbandes von Flimmerzellen, wie sie die Flimmerepithelien und in besonders einfacher und übersichtlicher Weise die Rippen der Ctenophoren darstellen, denn an einer protoplasmatischen Verbindung der Zellen eines Flimmerepithels wird wohl kein Zweifel bestehen. Die Erscheinungen der Flimmerbewegung sind an allen diesen Objecten dieselben.

Stellt man sich eine einfache Reihe, in gerader Linie hinter einander angeordneter Flimmerelemente vor, gleichgültig, ob sie einer Zelle oder einem Verbande von Zellen angehören, so mag das Ende, von dem die Wellen ihren Ursprung nehmen, als oberes, das entgegengesetzte als unteres bezeichnet werden. Denkt man

sich nun, dass vom oberen Ende eine einzelne Welle nach dem unteren zu verläuft, so ist bisher diese Erscheinung immer so aufgefasst worden, als ob innerhalb der Zellen vom oberen Ende bis zum unteren eine continuirliche Erregung verliefe, welche in jedem Flimmerelement, das sie passirt, eine Schlagbewegung veranlasst. Man hat sich immer mehr oder weniger klar eine „nervenähnliche Leitung" einer vom oberen bis ans untere Ende laufenden Erregung vorgestellt, deren sichtbarer Ausdruck die Schlagwelle ist. Die Erregung würde demnach nur an einem Punkte, am oberen Ende producirt und durch alle Elemente bis unten hin fortgeleitet. Im Hinblick auf die Thatsache der Autonomie der Elemente macht eine einfache Ueberlegung die Unhaltbarkeit dieser Annahme sofort klar. Die Autonomie beweist nämlich, dass ebenso wie im ersten Element auch in jedem anderen die bewegungserzeugende Ursache, nennen wir sie Erregung, producirt wird. Es würde also demnach schon nicht eine einzige von oben kommende Erregung sein, die bis ans untere Ende fortgeleitet wird, sondern jedes folgende Element würde ebenso Ausgangspunkt für eine selbständige, zum unteren Ende verlaufende Erregung sein. Hieraus geht aber wieder hervor, dass auch die Fortleitung jeder Erregung bis ans untere Ende eine Unmöglichkeit ist, denn sonst würde man eine nach unten stetig wachsende Erregung haben, die bald eine so enorme Höhe erreichte, dass die Flimmerelemente unten in der fieberhaftesten Thätigkeit wären, während die oberen in ruhigem Tempo schlügen. Es ist also unter keinen Umständen möglich, dass die in den einzelnen Elementen producirte Erregung bis ans Ende der Reihe fortgeleitet wird und noch weniger, dass eine continuirliche Erregungswelle die Reihe von oben bis unten durchliefe. Die Erregungsleitung in der Flimmerreihe darf man sich daher keinesfalls als nervenähnlich vorstellen, dem Protoplasma der Flimmerzellen kann kein ausgedehnteres, kein besseres Leitungsvermögen zukommen wie jedem anderen, nicht besonders für die Function der Leitung differenzierten Protoplasma, und dieses im Verhältniss zum Nerven äusserst geringe Leitungsvermögen dürfte höchstens dazu dienen, die kleinen Differenzen, welche sich in der Erregung der einzelnen Elemente geltend machen, auszugleichen. Dass übrigens normaler Weise diese Differenzen verschwindend sind, beweist die Thatsache, dass man die adorale Wimperzone eines Infusors, welche eine bestimmte Geschwindigkeit

ihres Wimperschlages hat, in beliebig viele Stücke zerlegen kann, deren jedes mit derselben Geschwindigkeit weiterschlägt. Es herrscht also in der normalen ungereizten Flimmerreihe im Grossen und Ganzen an allen Punkten dauernd gleiche Erregung. Dieses Verhältniss erfährt nur eine Aenderung bei localer Reizung der Flimmerreihe, wobei das Erregungsgleichgewicht an der Reizstelle durchbrochen wird und die Erregung sich von hier, wie bei jedem Protoplasma, je nach ihrer Intensität mehr oder weniger weit verbreitet. Letzterer Fall ist auch realisirt in den Versuchen von Kraft (l. c.), in denen er zeigt, dass eine durch Wärmereize bewirkte starke Erregung in einem Flimmerepithel auch durch eine künstlich in Ruhe oder geringer Bewegung gehaltene Partie nach einer abwärts gelegenen, unter normalen Verhältnissen befindlichen Stelle durch die protoplasmatische Leitung fortgepflanzt werden kann.

Es sei übrigens bemerkt, dass die Produktion der Bewegungsenergie im Protoplasma jedes Elements sicherlich eine continuirliche und nicht eine rhythmische ist. Denn da aus den Versuchen dauernder Reizung eines Schwimmplättchens hervorgeht, dass auch jede continuirliche Erregung sich stets in rhythmischen Schlägen (vgl. pag. 166) und nicht in continuirlicher Starre der Wimpern in der Lage der progressiven Bewegungsphase äussert, ist damit der Beweis geliefert, dass die Ursache des Rhythmus, d. h. der periodischen Rückkehr der Wimper in die Ruhelage in der Mechanik des Wimperschlages selbst gelegen ist. Es liegt daher kein Grund vor zur Annahme, dass ausserdem auch noch das Protoplasma selbst in rhythmischer Weise Bewegungsenergie producire.

Ist man nun einerseits gezwungen, die unhaltbare Annahme einer continuirlich von oben nach unten verlaufenden Erregung für die Erklärung der Metachronie fallen zu lassen, so bieten andrerseits die mitgetheilten Thatsachen das Material für eine andere, allen Erscheinungen gerecht werdende Vorstellung derselben. Aus der Thatsache, dass die autonome Bewegung der Flimmerelemente im Zusammenhange derselben unter einander verhindert ist, geht hervor, dass ein Abhängigkeitsverhältniss der Elemente von einander bestehen muss. Nach den Verhältnissen der Erregungsleitung im Flimmerepithel ist es klar, dass diese Abhängigkeit nicht, wie man vielleicht annehmen könnte, durch die Art der protoplasmatischen Leitung bedingt sein kann. Es bleibt demnach nur die

Möglichkeit, dass das Moment, welches die Bewegung verhindert, ein grobmechanisches ist. In der That beweisen die Einschneidungsversuche der adoralen Wimperstreifen heterotricher Infusorien die Richtigkeit dieser Vorstellung (vgl. pag. 165). Sobald der Schnitt ausgeführt ist, kann sich die erste Wimper unterhalb derselben selbständig bewegen, d. h. sie ist nicht mehr von der oberen abhängig, und doch ist durch den Schnitt nur der mechanische Zusammenhang der Wimperreihe selbst unterbrochen, während die beiden durch den Schnitt getrennten Abschnitte derselben durch den Zellkörper nach wie vor protoplasmatisch zusammenhängen und in leitender Verbindung mit einander stehen. Die Ursache der Bewegungsverhinderung muss demnach in einer eigenthümlichen mechanischen Fixirung der basalen Wimpertheile aneinander gesucht werden.

Würde nun dieser Mechanismus an einem beliebigen Flimmerelement nach einer Seite der Flimmerreihe verschoben werden, so würde das nächste Element nicht mehr in seiner Lage fixirt sein, sondern würde jetzt ebenfalls Spielraum für eine Bewegung haben. Dieser Fall wird bei jedem Schlage realisirt, denn es folgt bei dem Verlauf einer Welle über eine Flimmerreihe bei ruhiger Thätigkeit auf jede Bewegung der einen Wimper stets auch die Bewegung der folgenden, es muss also durch die Bewegung der vorhergehenden Wimper das mechanische Hinderniss für die nächste momentan aufgehoben sein. Dass es nun lediglich der mechanische Act der Bewegung an sich ist, darüber geben die Versuche der äusserlichen Fixirung von Schwimmplättchen in einer Lage, welche keine Bewegung gestattet, Aufschluss (vergl. pag. 171 u. 172). In diesem Falle macht die von oben kommende Welle an dem fixirten Plättchen Halt, ohne sich jenseits weiter fortzusetzen, d. h. die Bewegung eines Plättchens ist nothwendige Vorbedingung für den Schlag des nächsten.

Wie bemerkt, gilt dies nur für die ungestörte normale Flimmerbewegung. Sobald aber durch einen Reiz eine übernormale Erregung an einer Stelle gesetzt wird, wird die Kraft des betroffenen Flimmerelements gross genug, um das mechanische Hinderniss zu durchbrechen, und man sieht einen Schlag der betreffenden Wimper, ohne dass die vorhergehende Wimper in Bewegung gewesen wäre, einen Schlag, der sich dann nach abwärts in Gestalt einer Welle weiter fortpflanzt (vergl. pag. 166). Es folgt hieraus, dass der verbindende Mechanismus kein ganz starrer sein kann, sondern wie dies ja auch seiner protoplasmatischen Beschaffenheit nach zu

erwarten ist, eine grosse Elasticität besitzt. Seine Consistenz vermag nur dem Bewegungsstreben der Wimpern bei mittlerem Erregungszustande, wie er unter normalen Verhältnissen besteht, Widerstand zu leisten. Diese festweiche Consistenz des Mechanismus erklärt auch die Erscheinung, dass die Amplitude unter abnormen Verhältnissen, wie gezeigt wurde, in zwei benachbarten Partien einer Rippe verschieden sein kann (vergl. pag. 173). Da in allen Elementen einer Reihe der gleiche Erregungszustand herrscht, wird unter normalen Verhältnissen auch überall gleiche Amplitude sein. Wenn aber wie bei nachlassender Retraction einer Stelle die Amplitude local eingeschränkt ist, so wird es die Consistenz des Mechanismus gestatten, dass sich abwärts von dieser Stelle die Amplitude allmählich wieder bis zu der dem allgemeinen Erregungszustande entsprechenden Grösse ausgleicht (vgl. pag. 174).

Es bleibt nun noch die Frage übrig, wie es kommt, dass die Schlagwellen unter normalen Verhältnissen stets vom ersten Flimmerelement der Reihe ausgehen. Wenn jedes zwischen zwei andere eingeschlossene Flimmerelement durch den Mechanismus an der selbständigen Bewegung verhindert ist, so sind jedenfalls das erste und das letzte Element diejenigen, welchen der geringste Widerstand im Wege steht, denn sie werden nur von einer Seite festgehalten. Wenn also überhaupt irgendwo, so kann nur an diesen beiden Stellen die in der Norm producirte Energie ausreichen, den Widerstand zu überwinden. Dass nun von beiden Flimmerelementen in Bezug auf die Bewegungsfreiheit wieder das erste entschieden günstiger gestellt ist als das letztere, ist leicht begreiflich, wenn man sich erinnert, dass die beiden Seiten einer Wimper, welche dem Anfang und dem Ende der Reihe zugekehrt sind, für die aktive Bewegung, d. h. die Formveränderung ganz ungleichwerthig sind (vergl. pag. 162 u. 163). Während die dem Anfang der Reihe zugekehrte Seite den activen Theil repräsentirt, von dem die Initiative der Bewegung, die Contraction ausgeht, tritt die andere Seite erst in der zweiten Phase der Bewegung in Wirksamkeit, indem sie die Wimper durch ihre Elasticität in ihre Ruhelage zurückgleiten lässt. Bei der letzten Wimper einer Flimmerreihe ist nun die active Seite fixirt und nur die passiv durch ihre Elasticität wirkende frei, bei der ersten Wimper dagegen ist die active Seite unbehindert, es darf daher nicht auffallend erscheinen, wenn von ihr stets die Initiative der über die ganze Reihe verlaufenden

Wellen ausgeht. Dass nächst dem ersten Elemente dem letzten noch eine grössere Selbständigkeit zukommt, als den übrigen von beiden Seiten eingeschlossenen, wird übrigens durch die Thatsache bestätigt, dass das letzte Schwimmplättchen einer Rippe nach Operationen oder totaler Reizung des Thieres sich durch besondere Neigung als Ausgangspunkt rückläufiger Wellen zu dienen, vor den Plättchen inmitten der Reihe auszeichnet (vergl. pag. 167).

Somit sind alle Momente, welche zu einem völligen Verständniss der metachronen Bewegung erforderlich und ausreichend sind, beisammen: die in jedem Element producirte Energie, die Verhinderung der autonomen Bewegung bis zur gegebenen Gelegenheit, die Aufhebung des Hindernisses durch die Bewegung des vorhergehenden Elements und schliesslich die ungehinderte Autonomie des ersten Elements. Man wird sich demnach den Vorgang der metachronen Bewegung folgendermaassen zu denken haben. Die in dem ersten Element einer Flimmerreihe producirte Energie veranlasst dieses, da es nicht an der Bewegung gehindert ist, zum rhythmischen Schlagen. Jeder Schlag desselben giebt dem folgenden die Möglichkeit, seine eigene Autonomie zu äussern, d. h. selbst einen Schlag auszuführen, der seinerseits wieder dieselbe Wirkung auf das nächstfolgende Element ausübt u. s. f., so dass jeder Schlag als Welle bis ans Ende der Reihe verläuft und die rhythmischen Schläge des ersten Elements also ein System rhythmischer über die ganze Reihe abwärts verlaufender Wellen erzeugen. Ob jeder Schlag auf dem Wege des basalen Mechanismus ausserdem noch als bewegungsauslösender Reiz auf das folgende Element wirkt, also direkte Veranlassung zum Schlage wird, ist vorläufig aus den Thatsachen nicht zu entnehmen, doch ist die Möglichkeit durchaus nicht ohne Weiteres von der Hand zu weisen. Sicher ist in jedem Falle, dass nicht eine einzige continuirliche, von einem Punkte aus durch das Protoplasma der Flimmerelemente hinlaufende Erregung Ursache der metachronen Bewegung derselben ist, sondern dass die Ursache der Bewegung jedes einzelnen Elements in diesem selbst producirt wird. Diese Einrichtung sichert der Bewegungsfortpflanzung in der Flimmerreihe den Vortheil, dass der motorische Effect an allen Punkten der Reihe gleich gross ist, und nicht wie bei rein protoplasmatischer Reizleitung mit der Entfernung vom Punkte seiner Entstehung aus abnimmt.

Um schliesslich noch zu erwähnen, dass der durch die phy-

siologischen Verhältnisse geforderte Wimperbasenmechanismus auch anatomisch nicht völlig in der Luft schwebt, will ich an einige in neuerer Zeit beobachtete Differenzirungen des an den Basen der Wimpern gelegenen Protoplasmas erinnern, ohne damit behaupten zu wollen, dass die beobachteten Verhältnisse in jeder Einzelheit mit dem Wimperbasenmechanismus zu identificiren sind. Ein Beweis dürfte erst durch die Beobachtung der Function der betreffenden morphologischen Einrichtungen zu erbringen sein. Die in Frage stehenden Verhältnisse bei Flimmerzellen betreffen die in der äussersten Protoplasmaschicht direct an der Basis der Wimpern gelegenen Differenzirungen. Ausführlicher wurden zuerst von Engelmann[1]) 1880 an verschiedenen Flimmerzellen solche an den Basen der Wimpern im äusseren Protoplasma gelegene Differenzirungen beschrieben. Diese Fussstücke der Wimpern stellen sehr regelmässig angeordnete, dicht aneinandergereihte kurze als Stäbchen erscheinende Bildungen vor, welche senkrecht zur Oberfläche der Zellkörper stehen und die Verlängerung der Wimpern in der äusseren Protoplasmaschicht bilden. Engelmann mochte für die Function dieser Einrichtungen keine definitive Deutung geben. Mir scheinen dieselben, wenigstens zum Theil, mit der neuerdings von Bütschli[2]) u. A. in der äusseren Körperschicht der ciliaten Infusorien entdeckten, äusserst feinen und regelmässigen Wabenstructur des Protoplasmas identisch zu sein, die zu den Wimperpapillen in unmittelbarer Beziehung steht. Zur genaueren Kenntnissnahme dieser Verhältnisse muss ich auf die betreffenden Arbeiten selbst verweisen. Ich halte es als sehr wahrscheinlich, dass die von Bütschli beschriebenen, sehr weit gehenden Differenzirungen der Alveolarschicht als Theile eines Mechanismus aufzufassen sind, der die oben beschriebene Function versieht, doch bedarf es, wie gesagt, der directen Beobachtung und keiner Speculation, um darüber sicheren Aufschluss zu erlangen.

1) Engelmann: „Zur Anatomie und Physiologie der Flimmerzellen.“ In Pflügers Arch. Bd. 23. 1880.

2) Bütschli: „Die Protozoën“. In Bronns Klassen und Ordnungen des Thierreichs. Bd. 3. 1887—1889.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Bemerkungen zur Vocalfrage.

Von

L. Hermann.

Ziemlich gleichzeitig mit meiner Arbeit über die Vocale[1]) erschien eine Arbeit über denselben Gegenstand, welche der Philologe H. Pipping aus Helsingfors mit dem Hensen'schen Sprachzeichner ausgeführt hat[2]). Diese Arbeit enthält 24 Analysen von Vocalcurven, aus welchen sich, in höchst erfreulicher Uebereinstimmung mit meiner eigenen Untersuchung, ergiebt, dass die Höhe der hervorragenden Partialtöne der Vocale sich mit der Notenhöhe nicht wesentlich ändert.

Anstatt nun, wie ich, sich dieser Uebereinstimmung zweier von einander unabhängiger Untersuchungen in einem Jahrzehnte lang und bis in die letzten Monate hinein streitigen Punkte zu freuen, und die Erledigung der relativ unbedeutenden Differenzen der beiderseitigen Weiterarbeit zu überlassen, hat Pipping zu meiner Ueberraschung mit ganz ungewöhnlicher Eile einen ziemlich heftigen Angriff gegen meine Arbeit veröffentlicht[3]). Derselbe würde mir wegen seiner gänzlichen Haltlosigkeit kaum Anlass zu einer besonderen Beantwortung bieten, wenn nicht Hensen ausdrücklich für ihn die Verantwortung übernommen hätte. Letzteres bedaure ich um so mehr, als ich glaube, dass Hensen und Pip-

1) Phonophotographische Untersuchungen III. Dieses Archiv Bd. 47, S. 347.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27, S. 1.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 27, S. 433.

ping nur durch ein ganz unbegreifliches Missverständniss zu ihrem Vorgehen veranlasst worden sind, indem sie in meiner Arbeit eine „Kritik des Hensen'schen Sprachzeichners" zu finden glaubten[1]). Sie sehen dieselbe, wie ich auf Anfrage bei Herrn Pipping zu meiner Ueberraschung erfahren habe, in den Eingangsworten des 1. Theils meiner phonophotographischen Untersuchungen[2]), dass „die graphische Aufzeichnung von Stimm- und Sprachlauten bisher wesentlich mit zwei Schwierigkeiten zu kämpfen gehabt hat", nämlich Eigenschwingungen der Membran, und Eigenschaften des schreibenden Hebels. Es gehört wirklich viel Phantasie dazu, um in dieser harmlosen und unanfechtbaren Bemerkung über eine bekannte „Schwierigkeit" eine Kritik der Erfolge zu sehen, welche eine einzelne der unzähligen phonautographischen Methoden etwa in der Bekämpfung dieser Schwierigkeiten gehabt hat. Ich brauche kaum zu versichern, dass ich beim Schreiben jener Zeilen an den Hensen'schen Sprachzeichner nicht einmal gedacht habe. Ferner scheint meine Bemerkung, dass die hohen Partialtöne der Vocale E, I, Ue vor mir meines Wissens noch Niemand graphisch dargestellt hat, Pipping's Unwillen erregt zu haben, denn er sieht darin einen Beweis einer „sehr oberflächlichen" Kenntnissnahme von Hensen's Sprachzeichner. Es gehörte nur wenig guter Wille dazu, um aus meiner Bemerkung ganz einfach zu schliessen, dass ich die betr. Leistung des Sprachzeichners beim Schreiben derselben überhaupt gar nicht kannte, und dann wäre das stark tadelnde Wort „oberflächlich" vermieden worden. Pipping hatte unbestrittenes Recht, hervorzuheben, dass er schon vor mir E- und I-Curven mit jenen Oscillationen in seiner schwedischen Dissertation vom Januar 1890 abgebildet hat, von der ich aber, obgleich er sie mir zugesandt hat, der Sprache wegen absolut keine Notiz genommen habe, zumal er mir anzeigte, dass die deutsche Bearbeitung im Drucke sei. So lernte ich diese Curven erst kennen, als letztere, wenige Tage vor meiner Arbeit, erschien, sonst hätte ich sie selbstverständlich erwähnt, wie ich auch in der Fortsetzung meiner Untersuchungen diesen Prioritätspunkt der Publication, nicht des Findens[3]), sofort berichtigt haben würde. Das Wort „oberfläch-

1) S. den Nachtrag zu Pipping's Arbeit, a. a. O. S. 78.

2) Dieses Archiv Bd. 45, S. 582.

3) Ich habe die betr. Eigenschaft meiner E- und I-Curven schon im

liche Kenntnissnahme“ war also eine ungerechtfertigte Unfreundlichkeit.

Mehr als eine solche — um das Persönliche gleich zu erledigen — ist die ernst zu rügende Bemerkung Pipping's: „Seite 356—357 verwechselt Hermann die Amplituden und die Intensitäten.“ Seite 356 sowohl wie 357 handelt es sich stets nur um Curven und um Amplituden; es steht auch überall Amplituden, und nur zweimal (in einem identischen Passus) Intensitäten; da man Tonintensitäten nicht in mm. ausdrücken kann, so war nicht der mindeste Zweifel, was gemeint ist. Dass Acustiker die Höhe einer Curve Intensität nannten, wo eine Verwechselung mit Tonintensität nicht zu fürchten war, wird gewiss schon oft vorgekommen sein. Der Vorwurf einer „Verwechselung“ wäre also nur am Platze gewesen, wenn ich auf Intensitäten einen Schluss gegründet hätte, der nur für Amplituden richtig ist. Es ist üblich, Niemand ohne den zwingendsten Grund grobe Unwissenheit zuzumuthen.

Die sachlichen Einwände Pipping's entspringen sämmtlich einem physicalischen und einem mathematischen Missverständniss.

Das erstere besteht in Folgendem. Ich habe auf Grund meiner Curven die Vocale als eine Schallerscheinung besonderer Art erklärt, nämlich als feste Töne, welche intermittirend oder oscillirend im Tempo der Kehlkopfnote hervorgebracht werden, wobei es gleichgültig ist, ob jene Töne zum Kehlton harmonisch sind oder nicht. Ohne auf diese Aufstellung einer bisher unbekannten Art von Schallerscheinung irgendwie Rücksicht zu nehmen, verlangt Pipping von den Vocalen, wie ich sie mir denke, lauter Wirkungen, welche solche Schalle physicalisch schlechterdings nicht haben können.

So wendet er ein, dass die unharmonischen Töne mit Resonatoren nicht vernommen werden können, und bedenkt nicht, dass dies ganz unmöglich ist. Ein gewöhnlicher Resonator wird dadurch zum Mitschwingen gebracht, dass ihn Stösse in gleicher

Sommersemester 1889 in hiesigen Vereinen vorgezeigt, und im gleichen Jahre Exemplare derselben an verschiedene Fachgenossen, darunter Hensen, zur Ansicht versandt.

Phase seiner Eigenschwingung stets gleichsinnig treffen, während meine unharmonischen Töne in jeder neuen Periode eine Phasenverschiebung haben, und nur in Bezug auf die Perioden selbst stets in gleicher Phase auftreten. Uebrigens möchte ich fragen, ob Pipping solche Versuche mit Resonatoren überhaupt angestellt hat, und mit welchem Rechte er ihr negatives Resultat behauptet.

Ebenso falsch ist es, wenn Pipping sagt, die unharmonischen Töne müssten, da sie individuell verschieden sind, bei mehrstimmigem Gesang unangenehme Schwebungen geben. (Auch hier kann man fragen, ob die Bemerkung, dass solche Schwebungen nicht auftreten, ein blosses Aperçu ist oder auf Beobachtung beruht, die mir ungemein schwierig scheint.) Allein Schwebungen können nur entstehen, wenn zwei Töne sich mit der Zeit regelmässig gegen einander in ihren Phasen verschieben. Dies kann aber bei meinen Vocalen, wo die Töne in jeder Periode selbständig auftreten, begreiflicherweise nie der Fall sein. Pipping macht sich zwar selbst diesen naheliegenden Einwand, klammert sich aber daran, dass ich wirkliche annähernde Intermittenzen des charakteristischen Tones nur bei A und O, nicht bei E, I etc. nachgewiesen habe. Es kommt aber, wie man leicht sieht, gar nicht auf die Intermittenz, sondern nur auf die Incommensurabilität zwischen Mund- und Stimmton an, und diese tritt selbstverständlich weit deutlicher hervor, wenn die Mundperiode ein grosser, als wenn sie wie bei E, I etc. ein kleiner Bruchtheil der Stimmperiode ist. Daher wird auch bei E, I die Unharmonie sehr schwer sicher zu constatiren sein.

Pipping's Einwände fallen also von selbst dahin, wenn er sich für dieselben, wie er es zu thun vorgiebt, wirklich auf den Standpunkt meiner Befunde über die Vocale stellt. Viel consequenter wäre es gewesen, wenn er von vornherein die Unmöglichkeit solchen Schalles, wie ich ihn in den Vocalen sehe, behauptet hätte. Das hat er aber mit Recht nicht gewagt, vielleicht weil er wie ich das Gefühl hatte, dass der Vocal in der That eine Schallerscheinung ist, die von den sonst bekannten musikalischen Klangerscheinungen ganz fundamental verschieden ist, so dass unsre Schulbegriffe hier nicht ausreichen.

Weit schlimmer als das physicalische ist das mathematische Missverständniss Pipping's, indem er schon in seiner Arbeit selbst behauptet, nachgewiesen zu haben: die Vocale enthalten keine un-

harmonischen Theiltöne, und in der Kritik sich meinem Nachweis gegenüber auf seine Arbeit stützt.

Ich habe bereits (S. 360 meiner Arbeit) nachdrücklich darauf hingewiesen, dass die Fourier'sche Analyse schlechterdings nur harmonische Bestandtheile nachweisen kann, oder richtiger, diese Analyse ist eine völlig willkürliche Art der Zerlegung der Periode, nämlich nach harmonischen Sinus- und Cosinusfunctionen, deren jede wie immer beschaffene begrenzte oder periodische Curve fähig ist.

Wie kann nun Pipping, welcher sich lediglich und ganz mechanisch auf diese Analyse stützt, behaupten, dass die Vocalcurven keine unharmonischen Bestandtheile enthalten? Das ist genau so, als wenn jemand, weil auch ein Ellipsenbogen, ein Kreisbogen sich in harmonische Functionen entwickeln lässt, behaupten wollte, der Bogen enthalte nur Sinusfunctionen und keine Ellipsenbestandtheile; oder, noch drastischer, als wenn jemand einen bunten Teppich nur durch ein rein blaues Glas betrachtet hat, und daraufhin behaupten wollte, er enthalte kein Roth.

Etwas hiervon sieht auch Pipping ein, meint aber, wenn unharmonische Bestandtheile zugegen wären, so müsste die Fehlerrechnung dies herausgestellt haben. „Wenn unharmonische Theiltöne vorhanden wären", sagt er, „hätte ich nicht so kleine Werthe für $\Sigma\delta_\mu^2$ finden können, ohne wenigstens fast ebenso viele Constanten zu bestimmen, wie Ordinaten gemessen worden sind." Pipping meint also, denn ein anderer Sinn lässt sich nicht unterlegen, dass bei unharmonischen Bestandtheilen die Fourier'sche Reihe viel weniger convergent sein würde, als ohne solche. Vor Allem ist es verwunderlich, dass Pipping seine Werthe von $\Sigma\delta^2$ klein nennt, obgleich unter seinen im Ganzen 24 Vocalanalysen $\Sigma\delta^2$ 3mal die grösste Amplitude überschreitet, 2mal bis auf das 2—3fache. In solchen Fällen musste doch Pipping selbst nach seiner Theorie unharmonische Bestandtheile argwöhnen, welche ich ja selber nicht als nothwendig, sondern nur als häufig vorhanden erklärt habe. Nachgewiesen habe ich sie sogar nur für A und O, und grade von Pipping's 4 A-Analysen haben 2 jenen enormen Werth von $\Sigma\delta^2$ [1]).

---

1) Pipping irrt, wenn er sagt, er berechne so viele Theiltöne, dass der mittlere Fehler „seinen kleinsten Werth erhielt". Der kleinste Werth, nämlich

Aber Pipping's Theorie ist ganz falsch. Nichts spricht dafür, dass die Convergenz etwas über die Natur der Curve aussagt. Im Gegentheil kann man leicht aus einer Anzahl distanter und wenig in der Amplitude verschiedener harmonischer Schwingungen sich eine Curve zusammensetzen, deren Analyse eine wenig convergente Reihe giebt, und umgekehrt kann die Analyse eines ganz beliebigen Curvenzuges sehr convergente Reihen geben, wie die Theorie der gezupften Saiten lehrt[1]).

---

bei richtiger Rechnung Null (formell $^0/_0$, wahrer Werth 0), wird erreicht, wenn so viele Constanten berechnet werden, wie Ordinaten gemessen sind. Die richtige, von Bessel (Astronomische Nachrichten Bd. 6, S. 333 ff., 1828) gegebene Vorschrift, welche auch ganz richtig in Hensen's und Pipping's vermuthliche Quelle, nämlich Ligowski's Taschenbuch der Mathematik, übergegangen ist, lautet vielmehr dahin, so viele Constanten zu berechnen, dass die Summe der Fehlerquadrate hinreichend klein ist. Auch das hat übrigens Pipping nicht immer gethan; in den im Texte erwähnten Fällen hätten noch mehr Constanten berechnet, oder Rechenfehler vermuthet werden müssen, vor denen Pipping bei weitem weniger sicher war, als ich bei meiner mechanischen Einrichtung des Verfahrens. Bei Curve XIV (Vocal E) hat Pipping die Rechnung sogar mitten in einem „Verstärkungsgebiete" abgebrochen, obgleich die Summe der Fehlerquadrate noch relativ sehr gross war, nämlich weit über die Hälfte der grössten vorkommenden Amplitude.

1) Auch die in der vorigen Note erwähnte grundlegende Arbeit von Bessel erwähnt Nichts von einem Einfluss unharmonischer Bestandtheile auf die Convergenz der Reihe, obwohl bei Bessel's Beispiel, nämlich dem jährlichen Gang der Temperatur in Königsberg, solche Bestandtheile (einen solchen würde z. B. eine $n$tägige Periode darstellen, wenn n nicht zufällig einen ganzen Bruchtheil der Länge des Jahres ausmacht) sehr wohl möglich sind. Als concretes Beispiel, wie grundfalsch Pipping's Meinung ist, habe ich eine Curve analysirt, welche den offenbarsten unharmonischen Bestandtheil enthält, nämlich je eine ganze Sinusschwingung von 30 Einheiten Länge, abwechselnd mit graden in der Axe liegenden Linien von 10 Einheiten Länge. Die Sinusschwingung ist hier ganz unharmonisch zur Periode, von der sie $^3/_4$ ausmacht. Trotzdem ergiebt die Näherungs-Analyse, dass die Summe der Fehlerquadrate schon nach der zweiten Partialschwingung fast verschwindet; die dritte ist schon ausserordentlich klein. Dasselbe ergiebt auch die genaue Analyse einer solchen Curve, wie ich sie mittels Integration ausgeführt habe. Verlegt man den Nullpunkt in die Mitte der Sinusschwingung, nennt deren halbe Periode π und die Länge der halben gradlinigen Strecke k (so dass $f(x) = \sin x$ von $-\pi$ bis $+\pi$, und $f(x) = 0$ von $-(k+\pi)$ bis $-\pi$ und von

Pipping's Bemerkung ferner, dass die Oscillationen und Intermittenzen des Mundtons sich auch aus der Interferenz harmonischer Bestandtheile erklären lassen (S. 435), ist ganz überflüssig, da dasselbe schon in meiner Arbeit S. 360 gesagt ist. Auch hier ist ferner die Heranziehung der Grösse $\Sigma\delta^2$ irrthümlich.

Pipping hat sich überhaupt nicht klar gemacht, durch welche Mittel unharmonische Beimengungen in Curven nachgewiesen werden können. Eine von dem periodischen Vorgange unabhängige unharmonische Beimengung würde zur Folge haben, dass die Perioden nicht mehr gleich sind, oder vielmehr die wahre Periode soviel scheinbare Perioden umfasst, wie zwischen zwei Coincidenzen fallen. Diese Ungleichheit würde sich bei hinreichend vielen Perioden schon durch den Anblick, bei geringerer Zahl vielleicht nur durch den verschiedenen Ausfall der Analysen zu erkennen geben. Da aber Pipping nirgends zwei Perioden derselben Curve, geschweige denn zwei distante Perioden analysirt hat, so hätte ihm selbst eine unabhängige unharmonische Beimengung völlig entgehen müssen[1]). Vollends kann ein in jeder Periode ganz gleichartiger, d. h. in seiner Phase zur Periode constant bleibender unharmonischer Bestandtheil, wie ich ihn nachweise, durch die Fourier'sche Analyse unter keinen Umständen entdeckt werden, sondern es wird sich nur ein „Ver-

---

π bis $k+\pi$), so verschwinden alle a-Coëfficienten, und die b-Coëfficienten werden

$$b_r = 2(\pi+k)\cdot\frac{\sin\left(r\cdot\frac{\pi^2}{\pi+k}\right)}{(\pi+k)^2-r^2\pi^2}.$$

Setzt man hierin, der obigen Annahme entsprechend, $k = {}^1/_8\pi$, so wird $b_1 = 0{,}772$, $b_2 = 0{,}382$, $b_3 = -0{,}083$, $b_4 = 0$, $b_5 = 0{,}026$, $b_6 = -0{,}025$, $b_7 = 0{,}013$, $b_8 = 0$, $b_9 = -0{,}008$, $b_{10} = 0{,}009$, $b_{11} = -0{,}005$, $b_{12} = 0$, $b_{13} = 0{,}004$, $b_{14} = -0{,}004$, $b_{15} = 0{,}003$, $b_{16} = 0$ u. s. w., und in der That kann man sich leicht durch Construction überzeugen, dass schon die Zusammensetzung der beiden ersten Partialschwingungen die vorgelegte Curve sehr annähernd wiedergiebt.

1) Einmal (S. 69) hat Pipping eine „langsam vor sich gehende Veränderung der Configuration“ in seiner Curve bemerkt (ohne Analyse), aber nicht einmal diese Andeutung als Fingerzeig einer etwaigen unabhängigen unharmonischen Beimengung, sondern ohne Weiteres als Folge wechselnder Reinheit des Vocals betrachtet. Auch geht er über die Angabe von Helmholtz bezüglich des Auftretens hörbarer unharmonischer Partialtöne (die freilich von der meinigen ganz verschieden ist) zu leicht hinweg.

stärkungsgebiet" der harmonischen Partialtöne seiner Umgegend zeigen, wie es meine und Pipping's Analysen in der That ergeben.

Ich habe in solchen Fällen die Lage des verstärkenden unharmonischen Tones nach einer Art Schwerpunktsconstruction annähernd berechnet (S. 358), gegen welche Pipping den sehr unüberlegten Vorwurf macht, dass ich die harmonischen Partialtöne als äquidistant betrachte, während ihre Abstände mit zunehmender Höhe abnehmen. Pipping hat in der Eile ganz übersehen, dass ich nur von Schwingungszahlen rede, mit Schwingungszahlen rechne, und Schwingungszahlen ausrechne. Die Schwingungszahlen der harmonischen Partialtöne sind aber genau äquidistant, Pipping's Einwand also ganz unberechtigt.

Bei dem verkehrten Standpunkte Pipping's in Bezug auf den Nachweis unharmonischer Bestandtheile darf es nicht Wunder nehmen, wenn er behauptet, ich hätte diesen Nachweis nicht geliefert. Selbst in den relativ mangelhaften Reproductionen meiner Tafel ist dieser Nachweis enthalten, noch viel schärfer in den Original-Photogrammen, welche meinen Berechnungen zu Grunde liegen. Man muss eben die Curven nicht bloss analysiren, sondern sie auch anderweitig untersuchen. Wie will Pipping aus der Fourier'schen Reihe, in die sich ein Kreisbogen entwickeln lässt, den Kreis herauserkennen? Nun sieht Jeder z. B. in den 8 obersten Curven auf Blatt 5 meiner Tafel (No. 237, Vocal O), event. unter Zuhülfenahme einer feinen Abscissenaxe mit härtestem Bleistift, in jeder Periode eine kurze in sich periodische Gruppe, deren Periodenlänge kein ganzer Bruchtheil der ganzen Periode ist, und es auch bei kleinen Verschiebungen der Abscissenaxe nicht wird. Dies ist ein vollgültiger Nachweis, dass die Curven unharmonische Bestandtheile haben, und nähere Untersuchung ergiebt, 1. dass dieselben in jeder Periode von Neuem in gleicher Phase zur Periode auftreten, 2. dass der unharmonische Bestandtheil bei allen Tonhöhen des Vocals annähernd constante Schwingungsdauer hat. Ich bin begierig, wie Pipping diese Curvenformen auf seine Art erklären will, ohne die unmöglichsten Zufälligkeiten anzunehmen. Unter diesen Umständen ist auch die von mir angewandte, und von Pipping getadelte „Proportionalmessung" für den Zweck, für den ich sie benutze, völlig gerechtfertigt. Selbstverständlich mache ich, wie aus dem Wortlaut meiner Arbeit hervorgeht, keinen

Anspruch, die charakteristischen Töne in ihrer Höhe mehr als annähernd festzustellen. Pipping freilich kennt diese Höhen schon vor jeder Untersuchung ganz genau; denn er nimmt, indem er sich ausschliesslich auf die Analyse einzelner Perioden stützt, a priori an, dass seine Curven nur harmonische Bestandtheile enthalten.

Pipping's Bemerkung über meine „mathematische Darstellung der Amplitudenschwankung" ist ebenfalls irrthümlich. Er meint, es gehe nicht an, die Schwingung $\sin n\pi t \sin qn\pi t$ so zu deuten, dass der Ton n mit der Frequenz $\frac{1}{2}q$ in seiner Intensität oscillirt; er sieht nämlich in der grossen Periode nicht q, sondern $q+1$ „Zacken". Diese überschüssige „Zacke", welche durch den Vorzeichenwechsel der sin-Function entsteht, ist mir keineswegs entgangen, und doch bleibt es richtig, dass die Curve den Ton qn und nicht $(q+1)n$ darstellt, denn sie enthält isochrone Oscillationen von der Frequenz qn, allerdings mit regelmässigen Phasenwechseln behaftet. Die Höhe eines Tones hängt doch nicht schlechtweg von der Zahl der „Zacken", sondern von dem Zeitabstande der äquidistanten Einwirkungen ab. Wenn Pipping seine Zeichnung für grössere Werthe von q als 4, z. B. für $q=8$ oder 9 entwirft, so wird ihm dies vollkommen klar werden. Die von ihm urgirte überzählige Zacke erfolgt eben nicht in dem regelmässigen gegenseitigen Abstande aller übrigen, und die Curve lässt eine Schwingung von der Frequenz $(q+1)n$ eben nicht erkennen, sondern zeigt regelmässige Vorgänge von der Frequenz n und qn, ganz wie ich es gesagt habe, und lässt auch nur diese Töne, namentlich den ersteren, hören, und nicht die aus der Analyse hervorgehenden Töne $(q-1)n$ und $(q+1)n$.

Höchst seltsam ist Pipping's Einwand gegen meine Synthese des Vocals A. Er meint, die Klänge seien keine einfachen Töne gewesen, und daher beweise das Auftreten des Vocals Nichts. Pipping giebt aber keinen einzigen Grund an, wieso die Obertöne der Klänge den Vocal hervorgebracht haben sollten, und es wäre auch schwer, solche Gründe zu finden. In Wirklichkeit lautet also Pipping's Einwand, der Vocal sei zufällig nebenbei aufgetreten! Ueber diesen Einwand ist wohl kein Wort zu verlieren, nachdem der Vocal regelmässig unter den berechneten Umständen aufgetreten ist. Die Obertöne der verwendeten Klänge habe ich grade im Gegentheil, und gewiss mit

mehr Recht, als Störungen des Versuchs betrachtet, und die Vermuthung ausgesprochen (S. 389), der Versuch würde mit einfachen Tönen noch schönere Resultate geben.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich erwähnen, dass ich erst dieser Tage einem Musiker von Fach den Sirenenversuch vorgeführt habe, ohne ihm vorher zu sagen, um was es sich handle. Derselbe erklärte, als die betr. Drehgeschwindigkeit erreicht war, sofort den Vocal A, und zwar auf eine Note zu hören, welche genau die des Differenztones beider angegebenen Töne war. Ich bin jetzt beschäftigt, meine Curven mittels der König'schen Wellensirene zu prüfen, und werde die Resultate seinerzeit mittheilen.

Endlich bleibt noch derjenige Einwand zu erledigen, welchen mir Hensen selbst gemacht hat. Ich hatte bemerkt, es scheine mir „nicht unverständlich", dass der oscillirende Exspirationsstrom der Stimme die Mundhöhle oscillirend, resp. intermittirend anblase; es sei möglich, dass der Mundresonator, dessen Eigenschaften wegen seiner unregelmässigen Gestalt und weichen Wände theoretisch nicht übersehbar seien, hierzu genügende Dämpfung besitze. Hensen meint nun, ein so stark gedämpfter Mundresonator würde die Stimme überhaupt nicht hören lassen. Allein erstens erfolgt die Verstärkung der Stimme wesentlich durch die Resonanz des Brustkastens, zweitens heisst Dämpfung nicht schwaches, sondern rasch abklingendes Mittönen, und aus der Theorie der Resonanz ist es bekannt, dass grade starke Dämpfung mit grossem Ansprechbereich verbunden ist, also auch Töne, welche vom Eigenton weit abstehen, verstärkt werden. Dieser Einwand ist daher gewiss nicht ausreichend, meine Theorie der Vocale als „irrig und irreführend" zu bezeichnen. Mit ungleich mehr Recht könnte ich wohl Pipping's übereilte und verfehlte Kritik so nennen.

Zum Schluss noch einige Bemerkungen über die beiderseitigen Untersuchungsmethoden. Es lag mir, wie schon bemerkt, völlig fern, den Hensen'schen Sprachzeichner, den ich nicht aus eigener Anschauung kenne, zu kritisiren, ich werde aber durch Pipping und Hensen jetzt dazu genöthigt, da dieselben ihre Resultate als ungleich zuverlässiger erklären, denn die meinigen. Hensen scheint sich hauptsächlich darauf zu stützen, dass sein Sprachzeich-

ner das Trommelfell nachahme. Diese Nachahmung ist aber doch eine sehr oberflächliche, da sie nur darin besteht, dass eine Membran durch einen auf ihre Mitte wirkenden Zug gespannt wird, und mit dem spannenden Hebel schreibt. Beschaffenheit, Dicke, Spannung, Grösse der Membran und Angriffsweise des Hebels[1]) sind so wesentlich verschieden von den Eigenschaften des Trommelfells, und worauf es bei den letzteren eigentlich ankommt, wissen wir alle so wenig, dass mir die Aufzeichnungen des Sprachzeichners vor der Hand nicht mehr Vertrauen zu verdienen scheinen, als diejenigen irgend einer anderen von gröberen Eigenschwingungen freien Membran oder Platte. Pipping legt ferner grossen Werth auf die dämpfende Rückwirkung des zeichnenden Hebels auf die Membran; aber grade diese Rückwirkung ist sehr fraglich, zumal der Hebel nur mit Durchbiegung schreibt. Es wäre möglich, dass das microscopische Schreiben zwar die Eigenschwingungen des ziemlich massigen Hebels, aber nicht diejenigen der Membran dämpft.

Ich selber habe mich bei der Construction meines Apparats mehr durch die Erfahrung als durch aprioristische Ansichten leiten lassen, indem ich die Membran des neuen Edison'schen Phonographen möglichst nachahmte, welche zwar vom Trommelfell äusserst verschieden ist, aber die Sprache in unübertrefflicher und durch das Gehör erprobter Vollkommenheit aufnimmt. Dass hier die Dämpfung durch das eingrabende Zeichnen eine wesentliche Rolle spielt, habe ich bereits in meiner Arbeit (S. 348) stark hervorgehoben. (Die Rückwirkung derselben auf die Membran ist hier, abweichend vom Hensen'schen Apparat, ganz unmittelbar und daher zweifellos.) Ich suchte die Dämpfung durch einen zwischen Membran und Glimmersteg straff eingezwängten Wattebausch zu ersetzen. Im übrigen glaubte ich, dass es wesentlich auf Kleinheit der Schwingungen ankommt und hierin stimmt mein Verfahren mit dem Hensen'schen überein. Bei mir wie bei ihm sind die Schwingungen microscopisch. Er zeichnet sie unvergrössert auf, und betrachtet sie mit dem Microscop; ich zeichne sie vergrössert auf, indem ich einen langen, aber gewichts-

1) Fick hat z. B. einen radial befestigten Steg mit mindestens eben so grossem Rechte für das Wesentliche erklärt.

losen Hebel, nämlich den Lichtstrahl, verwende. Beides wird auf dasselbe hinauskommen.

Ich sehe also nicht den geringsten Grund, warum meine Curven weniger zuverlässig sein sollen, als die des Sprachzeichners, behaupte aber vorläufig auch nicht das Gegentheil. Ueberhaupt können, wie ich in meiner Arbeit wiederholt hervorgehoben habe, phonautographische Aufzeichnungen den natürlichen Vorgang in der Luft nur annähernd wiedergeben, und ich habe ausdrücklich constatirt, dass ich mich damit begnügen muss, die wesentlichsten, d. h. unterscheidendsten Merkmale des Vocals festzustellen. Die anscheinend grosse Illusion, der sich Pipping bezüglich der Treue seiner Curven hingiebt, scheint mir wesentlich davon herzurühren, dass er überhaupt nur mit einer einzigen Art und Grösse von Membran gearbeitet hat, also gar nicht bemerken konnte, wieviel die Membran selber hinzuthut. Ich habe so viel verschiedene Stoffe, Grössen, Steifigkeiten erprobt, dass ich in meinen Schlüssen sehr vorsichtig wurde, und nur stets wiederkehrende Charactere für massgebend hielt. Während ich also den Einfluss der Membran nicht nur „eingestehe", sondern hervorhebe, hält Pipping alles, was er zeichnet, für richtig, und seine Curven für genau genug, um Rechnungen mit 5—7 stelligen Logarithmen daran zu knüpfen und die Phasen der Partialtöne bis auf Minuten genau auszurechnen [1]). Nicht einmal diejenige Prüfung hat er angestellt, — wenigstens würde er es anführen, wenn es geschehen wäre, — ob die folgenden Perioden derselben Curve bei der Analyse dieselben Verhältnisszahlen und Phasenwerthe ergeben, ob nicht letztere, die auf Minuten ausgerechnet sind, um ganze Grade, ja 10 oder 100 Grade verschieden ausfallen! Er hat überhaupt nur einzelne Perioden analysirt, und bildet auch nur je eine ab, sein verwerthetes Ma-

1) Diese scheinbare Genauigkeit wird um so seltsamer, wenn man sieht, dass die Originalcurven zum Theil nur eine Höhe von 0,006 mm haben! Auch Pipping's Vorwurf, dass ich die gesungenen Tonhöhen nicht besonders controllirt habe, zeigt, dass derselbe nicht weiss, dass der verlangte Grad der Genauigkeit stets nach dem Zwecke abzumessen ist. Wenn ich um $^1/_{16}$ Ton falsch singe, so verschieben sich alle Obertöne und Schlüsse aus den Curvenmessungen ebenfalls um $^1/_{16}$ Ton, was vorläufig ganz irrelevant ist, so lange meine Angaben über die Höhe der characteristischen Töne um ganze Töne und mehr schwanken.

terial ist sehr wenig umfangreich im Vergleich zum meinigen, auch in Bezug auf die Zahl der Noten, auf welche der Vocal hintereinander von derselben Stimme gesungen wurde. Wenn ich, wie Pipping, hauptsächlich Kritik üben, und nicht mich auf Vertheidigung gegen seine Angriffe beschränken wollte, so hätte ich auch noch Manches zu bemerken über die oft sehr geringe Uebereinstimmung der wenigen Curven, welche für denselben Vocal vorliegen, über das Durcheinandergehen der „Verstärkungsgebiete" von E und I, über das auffallend häufige Zusammentreffen der unteren „Verstärkung" mit dem Grundton u. s. w. Aber ich begnüge mich gezeigt zu haben, wie wenig Grund vorliegt, etwa Pipping's Resultate für befriedigender zu halten als die meinigen. Befriedigend sind nur die Uebereinstimmungen beider Arbeiten, deren es zum Glück wesentliche giebt.

Auf Pipping's Bemerkungen über „Eleganz" der beiderseitigen Curven gehe ich nicht ein; darüber lohnt es sich nicht zu richten; auch habe ich nur das Urtheil Anderer über meine Curven wiedergegeben. Wenn er aber, weil ich ihm ein blindlings herausgegriffenes Blatt nach Helsingfors geschickt habe, meinen Messungen Mangel an Schärfe vorwirft, so hätte er sich doch sagen sollen, dass er die von mir gemessenen Curven niemals gesehen, also über ihre Beschaffenheit kein Urtheil hat.

Ich stehe also auf dem Standpunkte, dass vor allem die Vocalfrage dadurch wesentlich gefördert scheint, dass zwei mit wesentlich verschiedenen Mitteln ausgeführte Untersuchungen im wesentlichsten Punkte, nämlich der annähernden Constanz der charakteristischen Töne, zu einem übereinstimmenden, und die Helmholtz'sche Lehre von 1863 bestätigenden Ergebniss gelangt sind. Die Differenz beider Arbeiten besteht hauptsächlich darin, dass bei Hensen und Pipping die verstärkten Schwingungen wesentlich auf den Grundton aufgesetzt, bei mir die charakteristischen Schwingungen ganz unabhängig und in ihrer Amplitude (in der Periode des Stimmtons) oscillirend erscheinen, bei mir also meist auch bei jeder Schwingung des charakteristischen Tones selbst die Membran durch ihre Gleichgewichtslage geht. Wer hinsichtlich dieser Differenz Recht behalten wird, das können nur fortgesetzte Untersuchungen, aber kein Raisonnement entscheiden.

Dass endlich die charakteristischen Töne auch unharmonisch zum Stimmton sein können, habe ich in meinen Curven nachgewiesen, während Pipping diese Frage gar nicht untersucht, sondern a priori negativ beantwortet hat.

Erst in zweiter Linie im Vergleich zu meinen thatsächlichen Ergebnissen steht meine Theorie des Vocalcharakters und der Vocalbildung. Bei der Beurtheilung der Richtigkeit oder zunächst Möglichkeit derselben, möchte ich aus Gründen, welche sich später herausstellen werden, davor warnen, sich durch irgend eine Hypothese über die Natur des Hörens leiten zu lassen, am wenigsten freilich durch diejenige ganz neue, welche Pipping (S. 435 seiner Kritik) aufstellt.

Berichtigungen zum III. Theile meiner phonophotograpischen Untersuchungen: Bd. 47, S. 371, unterste Zeile, muss es statt „Eierschnur-Ornament" heissen: „Eierstab-Ornament". Ferner S. 375, Zeile 5 von oben, muss es statt „mitten in" selbstverständlich heissen „unmittelbar neben".

Ueber die Function der Otolithen-Apparate.

Von

J. Breuer (Wien).

Hierzu Tafel III, IV und V.

I. Historisches.

Prof. Goltz hatte 1870[1]) in der Abhandlung, in welcher er zuerst die Ohrbogengänge als Sinnesorgan für das Gleichgewicht betrachten lehrte, diesen Canälen die Perception der Lage des Kopfs, seiner Stellung zur Verticalen zugeschrieben. Die weitere Discussion des Gegenstandes durch Mach, Crum-Brown und mich schien zu ergeben, dass die Bogengänge selbst nur die Perception von Rotationsbewegungen, Winkelbeschleunigungen besorgen können. Es lag nun nahe, die Wahrnehmung geradliniger translatorischer Bewegungen und die der Stellung des Kopfs zur Verticalen den übrigen Gebilden des Vorhofs zuzuschreiben.

Mach[2]) hat sich (1874) dahin ausgesprochen: „Die Empfindungen der drei Winkelbeschleunigungen werden wahrscheinlich durch die Ampullennerven der drei Bogengänge, die Empfindungen der Progressivbeschleunigungen muthmasslich durch den Sacculus vermittelt. . . . Die Ansicht den Sacculus betreffend hat freilich nicht den gleichen Grad der Wahrscheinlichkeit, allein der Sacculus entspricht den Forderungen, welche an ein Organ zur Empfindung der Lage und Progressivbewegung gestellt werden müssen, am besten.“

---

1) Archiv f. Physiologie.

2) Mach, Versuche über den Gleichgewichtssinn. 2. Mittheilung. LXIX. Bd. d. Wiener akad. Sitzungsber.

Ich [1]) habe gleichzeitig dieselbe Ansicht ausgesprochen:

„Eine Nervenendigung, wie die der Ampullen, wo Haare in die Flüssigkeit ragen, schien an sich unbrauchbar, unter den Verhältnissen des Labyrinthes geradlinige Bewegung wahrzunehmen. Denn dabei verschiebt sich die Flüssigkeit weder, wenn sie einen geschlossenen Ring bildet, noch wenn sie in anderer Form zwischen festen Wänden liegt; weil sie eben durch den Gegendruck der Wand an jeder Strömung verhindert wird. Wohl aber werden feste Körper, welche ein von dem der Flüssigkeit verschiedenes specifisches Gewicht haben und irgendwie in derselben suspendirt sind, bei jeder, auch geradlinigen Bewegung ihrem Beharrungsvermögen zufolge zurückbleiben, d. h. relativ zur Flüssigkeit die entgegengesetzte, beim Stillstehen des Ganzen dieselbe Bewegung machen. Wie gross diese Bewegungen ausfallen, wird von dem Unterschiede des specifischen Gewichtes, vom Widerstand der Flüssigkeit und von der Art der Suspension abhängen. Finden wir im Labyrinthe dergleichen?"

„Ja, wenn wir der Beschreibung der macula acustica von Hasse [2]) folgen: »Wir finden da (in dem die Bogengänge vereinigenden Utriculus) ein von Haaren überragtes Epithel; .... der einzige Unterschied der spitz auslaufenden Haare von dem entsprechenden Gebilde der Stäbchenzellen der Ampullen besteht darin, dass sie kürzer sind .... Ein Gebilde kommt aber noch hinzu, welches wir in den Ampullen fehlen sehen, wo die längeren Härchen der Stäbchenzellen frei in die Endolymphe hineinragten. Es ist die Otolithenmasse, die als weisser glänzender Fleck durch das Foramen vestibulare sichtbar wird. Die Figur dieser Masse entspricht genau der der Macula und in der That hält sich dieselbe vollständig in deren Bereich und geht nicht darüber hinaus; .... Die Otolithen liegen der Epithelbekleidung der Macula acustica unmittelbar auf und ragen die Härchen der Stäbchenzellen in sie hinein. Bei Isolationsversuchen schwimmen die einzelnen Otolithen leicht fort und es bleibt schliesslich eine Membran übrig, die eine unregelmässige, helle, breite Streifung zeigt. In der Masse sieht man bald mit grösserer, bald mit geringerer Deutlichkeit rundliche

1) Breuer, Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. W. med. Jahrbücher 1874, p. 42.

2) Hasse, Zeitschr. f. wissenschaftl. Zoologie 1867, p. 637.

Kreise, wieder einen kleineren Kreis umgeben. Diese halte ich für den Ausdruck der Löcher, die die Stäbchenzellen machen.«"

„Die Sache steht nun hier wieder so wie bei den Ampullen. Die Bewegung der Otolithenmasse bei beginnender und aufhörender Bewegung des Kopfes oder mindestens der Nisus dazu muss jedenfalls stattfinden. Wenn die Haarzellen des Nervenepithels einen Stoss oder Druck in verschiedener Richtung verschieden percipiren, wie die Tastnerven der Haut es thun, so könnten sie über die Richtung der Bewegung und bei Ruhe, aus der verschiedenen Richtung des Schwerdruckes der Otolithenmasse, selbst über ruhige Lage des Kopfes Auskunft ertheilen. Ein Nervenapparat, der jene Bewegung percipiren und damit über die Bewegung des ganzen Kopfes Auskunft geben könnte, wäre also auch vorhanden; aber bei den Ampullen glaube ich schwerwiegende Gründe dafür vorgebracht zu haben, dass diese Perception wirklich stattfinde; für die Macula acustica vermag ich das nicht zu thun und muss es daher bei der Möglichkeit und der Vermuthung bewenden lassen."

„Doch noch eine Thatsache habe ich für die Annahme eines, die ruhige Lage des Kopfes percipirenden Organes anzuführen. Es ist die von Skrebitzky und Nagel für frontale, S. 16 für sagittale Kopfneigung constatirte Drehung der Bulbi, welche bei jeder bestimmten Neigung persistirt und zwar im Verhältniss von $^1/_6$ der Neigung des Kopfes gegen die Verticale. Nagel gibt an, dass die Raddrehung auch eintritt, wenn man, in liegender Körperstellung, sich aus der Bauch- oder Rückenlage in Seitenlage wendet. Dabei geschieht nun die Kopf- (und Körper-) Drehung um die Längsaxe, »welche Bewegung bei aufrechter Stellung ganz ohne Raddrehung vor sich geht. Allerdings aber sind die resultirenden Kopfstellungen, welche gleiche Raddrehungen zeigen, wieder die nämlichen, nur dass in dem einen Falle der Körper horizontal liegt, im anderen auf den Füssen steht.« Wenn wir für diese reflectorischen Stellungsveränderungen der Bulbi, wie wir wohl dürfen und müssen, den engen Zusammenhang mit den früher besprochenen aufrecht halten wollen, so müssen wir annehmen, dass der sensible Factor jenes Reflexvorganges auch die Ruhestellungen des Kopfes zu percipiren im Stande sei. Dies scheint mir, wie gesagt, ein Argument für die oben vermuthete Function der Macula acustica und der Otolithenmasse zu sein."

„Da ich aber hier schon so zweifelhafte Dinge bespreche, ge-

statte ich mir noch einen Punkt zu berühren. — Dass Otolithen die Geschwindigkeitsveränderungen des Thieres, wie oben auseinandergesetzt, mit einer Bewegung oder einem Drucke begleiten müssen, scheint mir unzweifelhaft; dass sie Schallbewegungen des umgebenden Mediums resonirend verstärken, ist möglich und wird allgemein angenommen. Wenn man Otolithen in einem Bläschen findet, auf welchem sich ein Nerv ausbreitet, wie bei den niedern Thieren, so ist von vorne herein ungewiss, welcher Perception der Apparat vorsteht, der Wahrnehmung der Bewegung des eigenen Körpers oder dem Hören. Ich wage darüber keine Meinung auszusprechen, hielte es aber für ein dankbares Unternehmen, die Gehörorgane niederer Thiere von diesem Gesichtspunkt aus zu betrachten. Wenn ich bedenke, wie wichtig für Wasserthiere die Empfindung passiver Bewegung ist, da sie durch die Strömung so viel mehr und intensiver bewegt werden als Luftthiere durch ihr Medium, und wie bei niederen Thieren schon die Gehörbläschen auftreten, wo kaum ein Pigmentfleck der Lichtperception vorsteht, wie bei Medusen die „Randkörper" u. s. f. — dann scheint mir die Frage nahezuliegen, ob denn die grobe Perception des Otolithenstosses und damit der Bewegung des Körpers nicht die erste Leistung dieses Organs in der Thierreihe ist. Wenn es bei höheren Thieren vielleicht beiden Functionen vorsteht, so entspricht es doch nur der Theilung der Arbeit, worin die complicirtere Organisation besteht, wenn jenes Otolithenbläschen in den höheren Stufen der Thierreihe sich differenzirend entwickelt: in ein Organ für Perception der Bewegung, zur höchsten Leistung befähigt im System der Bogengänge und in ein Organ zur Wahrnehmung der Schallschwingung, die Schnecke. — In diesem Zusammenhange würde es sich erklären, wieso die beiden, anscheinend so verschiedenen Functionen des Hörens und der Bewegungsperception in den beiden Theilen eines und desselben Organes verbunden sind; es würden die beiden Functionen in dem „Gehörbläschen" der Weichthiere im Keime vereinigt sein: zu ihrer Entfaltung differenzirte sich das Bläschen zu den beiden Theilen des häutigen Labyrinthes."

Während die Discussion über die Function der Bogengänge in den letzten 15 Jahren eifrig fortgeführt wurde, haben die eben citirten Aeusserungen von Mach und mir über die Leistung des Otolithenapparates kaum ein Echo erweckt.

E. v. Cyon[1]) hat 1877 in einer Mittheilung in den Comptes rendus, und 1878 in seiner Pariser Doctorats-These die Ansicht vertreten, die Nervenendigungen in den Ampullen könnten nicht durch Bewegungstendenzen in der Endolymphe erregt werden, wohl aber seien hiefür günstige Bedingungen „zunächst in den Otolithen gegeben, die ja nicht nur in den Sacculis, sondern auch in den Ampullen und selbst in den Canälen enthalten sind. Jede, sei es active, sei es passive Kopfbewegung muss eine Erschütterung dieser Otolithen bewirken, welche eine mechanische Reizung der nervösen Terminalapparate herbeiführen wird.“ . . . „Es wäre sogar möglich, dass die Bewegung des Otolithen im Utriculus oder im Sacculus eine Reihe von Erschütterungen der Nervenfasern bald des einen, bald des andern häutigen Canales, je nach der diesem häutigen Canale durch die Kopfbewegung gegebenen Stellung mittheilte.“

Die Ansicht, welche in der ersten der hier citirten Stellen ausgesprochen wird, ist vollständig unhaltbar, seit man mit Sicherheit weiss, dass normalerweise in Ampullen und Canälen keine Otolithen vorkommen. Die Meinung der zweiten Stelle und die zu Grunde liegende anatomische Vorstellung sind mir durchaus unverständlich. An eine Untersuchung der im Sacculus und Utriculus selbst an ihren Nervenendapparaten erfolgenden Erregung scheint Cyon nicht gedacht zu haben.

Der Meinung aber, dass der „Gehörapparat“ niederer Thiere ein Orientirungsapparat sei, schliesst sich auch Cyon mit grosser Energie an. „Meiner Anschauungsweise zufolge vermittelt nur der Ramus Cochleae das Hören; der Ram. Vestibuli dient bei den Thieren zur Orientirung im Raume, sowie beim Menschen zur Bildung des Raumbegriffs. Bisher pflegten die Zoologen jedes Endorgan eines dem achten Paare entsprechenden Nerven als Gehörorgan zu beschreiben. Mir ist indessen keine einzige Beobachtung bekannt, welche die Gehörfähigkeit niederer Thiere bewiese. Gewöhnlich reagiren dieselben nicht gegen Geräusche; ein Hörorgan wäre übrigens für diese Thiere von sehr problematischem Nutzen. Dagegen ist ein Orientirungsorgan allen bewegungsfähigen Thieren unentbehrlich; und wenn wir in der Thierreihe abwärts steigend den Bau der sog. Gehörorgane studiren, können wir uns davon

1) Cyon, Gesammelte physiol. Arbeiten 1888, p. 268 u. p. 333.

überzeugen, dass es die Schnecke ist, die zuerst verschwindet, während die Bogengänge, und vor allem die Säckchen, noch erhalten bleiben."

Den Bericht über Versuche an Neunaugen schliesst Cyon: „Es ergiebt sich aus den von mir angestellten Experimenten, dass bei den Neunaugen, die ja keine Schnecke besitzen, das sog. Gehörorgan wahrscheinlicher Weise zu nichts Anderem dient, als zur Orientirung im Raume. Wäre es allzu gewagt, daraus den Schluss zu ziehen, dass bei wirbellosen Thieren die sog. Gehörorgane lediglich Organe des Raumsinnes oder allermindestens Orientirungsorgane sind?"

In letzter Zeit hat Yves Delage[1]) „bei den Wirbellosen nachgewiesen, dass die Otocysten, einfache Blasen ohne Fortsätze, dieselben Functionen (für die Orientirung) ausüben, wie das ganze Labyrinth der Wirbelthiere". Steiner hat dem widersprochen.

Die Beobachtungen von Delage haben Prof. Th. W. Engelmann[2]) bewogen, Betrachtungen über die Function der Otolithen im Sinneskörper der Ctenophoren (Rippenquallen) wie der Otolithen überhaupt zu publiciren. Engelmann „hält den allgemein als Otolithen bezeichneten, am aboralen Pol des Ctenophorenkörpers gelegenen Kalkkörper für einen die Erhaltung des Körper-Gleichgewichts vermittelnden Apparat. Wie namentlich durch Chun's sorgfältige Untersuchung bekannt, ruht dieser im Allgemeinen kugelige Körper auf vier gleichen, ihn in regelmässigen Abständen im Kreis umstellenden, federartigen, elastischen Wimperplättchen derart, dass er inmitten der Glocke nach allen Seiten frei pendelt. Die vier Federn wurzeln in eigenthümlichen Epithelzellen im Sinneskörper, von welchen aus 8 als Flimmer-Rinnen bezeichnete Epithelstreifen in meridionaler Richtung zu den 8, Ruderplättchen tragenden Rippen ausstrahlen. In der Norm schreitet der Anstoss zur Bewegung der Schwimmplättchen wellenförmig vom aboralen nach dem oralen Pole hin fort, wobei nach den Versuchen von Chun die Flimmerrinnen als Nerven wirken."

„Im unversehrten Thier laufen, wie Chun gezeigt hat, die Wellen stets gleichzeitig über die beiden Rippen desselben Qua-

---

1) Comptes rendus Acad. sc. Tome CIII, p. 798. Sur une fonction nouvelle des otocystes, Arch. d. Zool. experim. T. V. 1887.

2) Ueber die Function d. Otolithen, Zool. Anzeiger 1887.

dranten ab. Ein vom Pol ausgehender Anstoss theilt sich also nicht nothwendig allen vier Rippenpaaren mit, denn jede von ihnen ist für sich von dort aus reizbar. Dabei kann Frequenz, Energie, Form, Richtung des Stützeffectes des Ruderschlages mannigfach variirt werden."

„Wird hierdurch die Möglichkeit einer Regulirung der Bewegung der Schwimmplättchen vermittelst des Sinneskörpers einleuchtend, — das Aufhören der Regulirung nach Wegschneiden des Sinneskörpers (wonach die Thiere noch viele Tage am Leben bleiben können) beweist, dass eine solche Regulirung in Wirklichkeit durch denselben vermittelt wird."

„Mir scheint nun die Bedeutung des Otolithen einfach darin gesucht werden zu müssen, dass er die Hauptaxe des Körpers unter allen Umständen mittelst der Schwimmplättchen in der normalen senkrechten Lage zu erhalten strebt."

„Bei vertikaler Lage der Hauptaxe drückt der Otolith gleich stark auf jede der 4 Federn. Neigt sich die Axe nach irgend einer Seite, so drückt er die auf dieser Seite liegende Feder stärker. . . . . . Umgekehrt erfahren natürlich die auf der gegenüberliegenden Körperhälfte liegenden Federn eine entsprechende Entlastung. Diese bei Abweichung der Hauptaxe aus der senkrechten Lage nothwendig erfolgenden Druckänderungen könnten nun vermittelst der von den Federn ausgehenden als Nerven fungirenden Zellstränge das Spiel der Wimperplättchen so beeinflussen, dass eine compensatorische Körperbewegung herbeigeführt, der normale vertikale Stand also wieder hergestellt wird. . . . . ."

„Wenn dieses, wie ich glaube, der Fall, so würde weiter zu prüfen sein, ob dasselbe oder doch ein wesentlich ähnliches Prinzip automatischer Regulirung des Gleichgewichtes auch anderwärts im Thierreich Anwendung findet, im Besondern, ob die Bedeutung der sogenannten Otolithen allgemein in der angegebenen Richtung zu suchen sei. In der That scheinen schon jetzt einige Gründe für diese Erwartung angeführt werden zu können. Ich erwähne das sehr allgemeine Vorkommen von Otolithen bei frei beweglichen Thieren, ihr Fehlen bei vielen, wo nicht den meisten festsitzenden oder träge kriechenden Formen, ihre Rückbildung namentlich bei festsitzenden Formen, die in ihren frei beweglichen Jugendzuständen ansehnliche Otolithen besitzen, das häufige Eingebettetsein der Gehörbläschen in weichem unelastischem, für Uebertragung von

Schallschwingungen durchaus ungeeignetem Gewebe, die sehr allgemeine Verbindung der Otolithen mit, bezüglich ihre Lagerung auf oder zwischen den Spitzen elastischer haar- oder borstenförmiger Zellauswüchse, welche als lange Hebelarme die mit Abweichung des Körpers aus der Gleichgewichtslage nothwendig verbundene Aenderung des von Otolithen auf sie ausgeübten Druckes verstärkt auf die mit den Nerven verbundenen Zellkörper, in denen sie wurzeln, zu übertragen geeignet scheinen."

Engelmann meint weiters, dass auch die bei den Vertebraten (mit Ausnahme der Knochenfische) vorkommenden aus zahllosen mikroskopischen Kalkkrystallen bestehenden Otolithenplatten zu derselben Annahme berechtigen. „Dass das häutige Labyrinth, speciell der Utriculus und wohl auch der Sacculus für die Regulirung des Körpergleichgewichts von Bedeutung sind, darf nach den von Goltz wieder aufgenommenen und von ihm und Anderen weiter verfolgten Flourens'schen Versuchen nicht bezweifelt werden. Wenn andererseits demselben Theil des Labyrinthes, wie es scheint mit gleicher Bestimmtheit, die Vermittlung specifischer Gehörempfindungen zugeschrieben werden muss, so liegt der Gedanke nahe, es möchten die cristae acusticae, welche der Otolithen entbehren, der acustischen, die maculae acusticae der aquilibrischen Function dienen, womit der bisher unverständliche Unterschied im Bau beider physiologisch einleuchtender würde. Die bisher auf die Function der halbkreisförmigen Kanäle bezüglichen Versuchsergebnisse reden freilich gerade dieser Arbeitstheilung nicht das Wort[1]). Immerhin wird man den Vortheil nicht verkennen, der darin liegt, wenn eine der elementarsten Bedingungen ungestörter Vollziehung der wichtigsten Functionen, die Erhaltung des Körpergleichgewichts durch einen eigenen, eventuell auch ohne Betheiligung des Bewusstseins, blind wirkenden Reflexmechanismus garantirt wird."

Ich habe mir erlaubt, die Mittheilung Engelmann's so ausführlich hier zu reproduciren, weil sie in einer im ärztlichen Publikum weniger verbreiteten Zeitschrift erschienen ist. Sie entwickelt den Schluss, zu dem die bekannten Thatsachen drängen, in klarster Weise und denselben als richtig (bei den Wirbelthieren) nachzuweisen, ist eben die Aufgabe dieser Abhandlung.

1) Ich hoffe im Folgenden die hier berührte Frage in anderer Weise befriedigend beantworten zu können. Br.

Löb[1]) streift unseren Gegenstand in einer vorläufigen Mittheilung über „die Orientirung der Thiere gegen die Schwerkraft der Erde (thierischer Geotropismus)“.

Es erübrigt nun noch die Arbeit von Yves Delage: „Etudes expérimentales sur les illusions statiques et dynamiques de direction pour servir à déterminer les fonctions des canaux semicirculaires de l'oreille interne.“ Diese ausgezeichnete Abhandlung ist die einzige, welche das hier behandelte Problem experimentell und eingehend behandelt und jeder Arbeiter auf diesem Gebiete muss sich mit derselben im Einzelnen auseinandersetzen. Sie ist für uns von noch grösserer Wichtigkeit geworden, da Prof. Aubert sie übersetzt, seiner Abhandlung „Physiol. Studien über die Orientirung“ zu Grunde gelegt und sich Delage im Wesentlichen angeschlossen hat. Aber eben aus diesen Gründen, und weil eine Discussion derselben im Einzelnsten nothwendig ist, muss ich mich hier in der Uebersicht der Literatur unseres Gegenstandes darauf beschränken, die Arbeit anzuführen. Ich werde in einem Anhangskapitel darzulegen suchen, worin und warum meine Anschauungen von Delage-Aubert abweichen.

Im Folgenden sollen zunächst die Thatsachen besprochen werden, welche sich auf die Existenz spezifischer Empfindungen der Lage und progressiver Bewegung beziehen. Dann habe ich darzulegen, was die anatomische Untersuchung der Otolithenapparate bei den Wirbelthieren, unter diesem Gesichtspunkte betrachtet, ergiebt; und schliesslich soll discutirt werden, ob und mit wie grosser Wahrscheinlichkeit diese Sinnesapparate als Organe für die genannten räumlichen Wahrnehmungen angesprochen werden können.

II. Empfindungen der Lage und progressiver Bewegung.

Selbstverständlich muss eine Sammlung und Darlegung der Gründe, welche für die Existenz solcher specifischen Sinneswahrnehmungen sprechen, in der Hauptsache Bekanntes wiederholen und zusammenstellen. Hierfür bitte ich um Entschuldigung. — Es braucht eigentlich nicht abermals betont zu werden, soll aber vorsichtshalber doch auch hier wiederholt werden, dass selbstver-

1) Würzburger Sitzungsber. 1888, 1.

2) Archives de Zoologie experimentale 1886.

ständlicher Weise unter normalen Verhältnissen die Empfindungen der Haut (des Druckes auf belasteten Hautstellen) der Muskel und Gelenke und Gesichtswahrnehmungen grossen Antheil haben an der Wahrnehmung von Lage und Bewegung. Die Frage ist, ob ausserdem noch specifische Empfindungen der Art bestehen, welche uns durch ein eigenes Sinnesorgan geliefert werden. Ich glaube, dass bei dieser Untersuchung die Frage nach der Existenz von Lageempfindungen von jener nach den Translationsempfindungen getrennt werden muss.

Denn, was die Empfindungen der Lage angeht, so ist längst bewiesen, dass durch die Neigung des Kopfes gegen die Verticale ganz bestimmte Reflexe ausgelöst werden und dass die bezüglichen centripetalen Reize im Kopfe entstehen. Dieser Beweis ruht auf den Stellungsveränderungen der Augen bei dauernder Neigung des Kopfes gegen die Verticale.

Wenn man den aufrecht gehaltenen Kopf um seine verticale Axe dreht, wobei er also nach keiner Seite geneigt, sondern nur nach der rechten oder linken Schulter gewendet wird, so sieht ein Beobachter Folgendes: Während der Kopfwendung bleiben die Bulbi zunächst in ihrer früheren Stellung und werden dann rasch nachgedreht; dies wiederholt sich bei ausgiebiger Kopfwendung mehrmals [1]). Am Schlusse der Kopfwendung stehen die Bulbi wieder in ihrer Normalstellung. Oder — die Augen werden dem Kopfe vorausgedreht, gehen selbst etwas weiter als dieser, und bleiben dann oft etwas nach der Seite hin gerichtet [2]). Ob das eine oder das andere erfolgt, hängt von der Intention ab, in welcher die Bewegung vollzogen wird. Viele Menschen drehen den Kopf immer mit der Intention, nach der Seite zu schauen, vollziehen sozusagen das militärische Kommando „rechts geschaut"; daraus folgt dann die normale Bewegungskombination des Blickens nach der Seite, dass die Wendung des Kopfes durch die weitere Drehung der Augen ergänzt wird. Geschieht die Kopfwendung ohne Intention nach der Seite zu schauen, so drehen sich die Augen ruckweise dem Kopfe nach. So ist es, wie ich a. a. O. p. 12 mitgetheilt, bei Blinden, oder wenn man die Intention zu schauen durch Aufsetzen einer Staarbrille abschwächt, und bei passiver Drehung.

1) Breuer, Ueb. die Function d. Bogengänge. W. m. Jahrb. 1874, p. 12.

2) Y. Delage, Etudes exp. p. 554, Aubert p. 31.

In jedem Falle aber hat die Drehung des Kopfes um seine Verticalaxe (Wendung) nie die Folge, dass am Schlusse der Drehung die Augen zurückblieben und im entgegengesetzten Sinne gewendet wären; sie stehen dann in der Normalstellung oder etwas weiter gewendet als der Kopf.

Anders ist es bei Neigung des Kopfes. Wie ich a. a. O. gezeigt habe, „kann man an seit längerer Zeit Erblindeten mit Sicherheit beobachten, dass bei Neigung des Kopfes nach vorne die Blickebene relativ zum Kopfe sich hebt, bei Zurückbiegen desselben sich senkt und so verharrt. An Sehenden lässt sich der Versuch nicht machen, weil die schwache, von der Kopfneigung abhängige Innervation der Heber und Senker durch die willkürlichen Blickbewegungen im Interesse des Sehens völlig maskirt wird".

Allgemein bekannt und anerkannt ist aber die Raddrehung der Augen, welche jede Neigung des Kopfes nach rechts oder links dauernd theilweise compensirt. Es haben auch Hueck, Javal, Skrebitzky und Nagel (Arch. f. Ophthalmologie, 17. Bd.) gezeigt, „dass bei frontaler Drehung des Kopfes, gleichgiltig ob diese activ oder passiv und in welchem Gelenke immer geschehe, eine compensirende Raddrehung der Bulbi im entgegengesetzten Sinne auftritt, im Ausmasse von $^1/_6$—$^1/_{10}$ des Winkels der Kopfneigung", und zwar als bleibende, mit der Kopfneigung andauernde Orientirung der Bulbi. Für Thiere mit seitlich stehenden Augen hat bereits Gräfe (Arch. f. Ophth. I) die compensirenden Raddrehungen nachgewiesen, und zwar erfolgen sie da auch bei Blindgeborenen.

Man könnte nun daran denken, dass die Drehung der Augen ein Theil der synergischen Muskelcombination bei dauernder Festhaltung des Kopfes in geneigter Stellung sei oder reflectorisch von der Beugung der Halsgelenke abhänge. Aber sie erfolgt auch bei passiver Seitenlage des Kopfes; schon Gräfe bemerkte für die Kaninchen, dass die compensirenden Raddrehungen der Augen auftreten, ob man den Kopf allein oder auch den Rumpf bewege, dass das für dieselben Bestimmende eben nur die Stellung des Kopfes sei. Für die Frontalneigungen beim Menschen hat Nagel gezeigt, dass die Raddrehung des Auges eintrete, wenn man horizontal auf dem Rücken liegend sich nach der Seite umwälzt, also bei einer Bewegung um die Längsaxe des Körpers, welche in auf-

rechter Stellung vollzogen, keinerlei dauernde Verstellung der Augen zur Folge hat[1]).

Man muss also als erwiesen ansehen, dass geneigte Lage des Kopfes die Verstellung der Augen hervorruft, dass es nur die veränderte Stellung desselben gegen die Verticale ist, welche diesen Reflex auslöst, und dass es sich dabei nur um eine Wirkung der Gravitation handeln kann. Am Kopfe ist aber so wenig Bewegliches, die Empfindungen der Haut können durch Unterstützung des Kopfes mit Polstern, durch Druck oder dgl. so variirt werden, ohne Veränderung des Resultates, dass wir schon hier zu dem Schluss gelangen, es handle sich dabei um Wirkung der Gravitation auf ein Organ im Innern des Kopfes. Das Gehirn wird nun durch relative Veränderung seiner Stellung zur Gravitationsrichtung beeinflusst werden, auch vielleicht minimalen Verschiebungen unterliegen. Von der Annahme aber, dass es das Gehirn selbst sei, welches seine Stellung gegen die Verticale percipire, gilt, was Mach (Bewegungsempfindungen, pag. 94) von der Annahme sagte, dass das Kleinhirn jede Winkelbeschleunigung um eine Axe als Drehung um dieselbe Axe empfinden solle: „sie sei a priori so unwahrscheinlich, dass sie ohne sehr stichhaltige Beweise nicht angenommen werden kann. Mit gleichem Rechte könnte man erwarten, das mit einer Linse auf die Hirnoberfläche entworfene Bild werde deutlich gesehen.“

Die Gravitationsbeschleunigung wirkt bei aufrechter Stellung und gerade gehaltenem Kopfe auf alle Theile desselben parallel der Längsaxe des Körpers und der „Verticalaxe“ des Kopfes; bei Seitenneigung des Kopfes schliesst ihre Richtung mit dieser Kopfaxe einen Winkel ein. Analoge Verhältnisse lassen sich nun herstellen, wenn bei verticaler Haltung des Kopfes auf denselben eine horizontale Beschleunigung wirkt. Diese wird sich mit der Gravitationsbeschleunigung zu einer Resultante componiren, welche mit der Verticalen und der „Verticalaxe“ des Kopfes einen Winkel einschliesst. Dies geschieht durch die Centrifugalkraft, wenn der Körper activ oder passiv in einer horizontalen Curve bewegt wird. Tritt in solchem Falle derselbe Reflex der Augenverstellung ein,

1) Man kann sich hiervon ganz leicht überzeugen, wenn man den Versuch macht, während man ein sagittal stehendes Nachbild auf das mit Verticallinien versehene Visirbrettchen projicirt.

wie bei Neigung des Kopfes? Allerdings. Es ist schon oft bemerkt worden, dass, wenn man in Eisenbahnzügen mit der passenden Geschwindigkeit durch eine Curve fährt, Häuser und Bäume schief gestellt erscheinen, und zwar nach aussen, vom Centrum der Curve weg, geneigt. (Diese Erscheinung hat auch Mach zur Bearbeitung des Gegenstandes angeregt.) Sie beruht darauf, dass unter solchen Umständen eine Raddrehung der Augen eintritt, deren Meridiane sich mit ihren oberen Hälften dem Centrum der durchfahrenen Curve zuneigen. Diese Drehung der Augen ist eine Theilerscheinung der veränderten Perception der Verticalrichtung, die unter solchen Umständen eintritt. Man glaubt die Verticale (oben) mehr gegen das Centrum der Curve geneigt und wenn man dabei steht oder die Curve in activer Bewegung beschreibt, neigt man den ganzen Körper in demselben Sinne gegen das Centrum derselben. Für diesen Fall ist die Erscheinung allbekannt. Man sieht sie bei jedem Ringlauf, beim Schlittschuhläufer, an den Pferden in der Manège u. s. f. Dass es sich dabei nicht nur um eine Reaction auf die veränderte Gravitation des Körpers handle, beweisen jene Versuche, bei denen der Körper gut unterstützt in völliger passiver Ruhe ist. Dies ist eine Versuchsanordnung Mach's[1]). Um eine verticale Axe drehbar ist ein vertical stehender Balkenrahmen, gross genug, um darin einen Stuhl für den Beobachter anzubringen, der also bei Rotation des Rahmens im Kreise bewegt wird. Er ist in einem Papierkasten eingeschlossen. „Wir bringen nun den Beobachter 1 m weit von der Rotationsaxe in nahe verticale Stellung, lassen ihn gegen die Axe hinsehen und bringen ihn in Rotation. Bald nachdem die Winkelgeschwindigkeit des in den Papierkasten eingeschlossenen Beobachters constant geworden ist, hört jedes Drehgefühl auf. Der Beobachter meint blos mehr auf dem Rücken zu liegen, als dies wirklich der Fall ist. Man empfindet die Richtung der resultirenden Massenbeschleunigung und hält diese für die Verticale." Sitzt der Beobachter so, dass er in tangentialer Richtung hinausblickt, aber in dem Papierkasten eingeschlossen, auf dessen Innenseite ein verticaler Strich sich befindet, so glaubt er während der gleichmässigen Drehung sich sammt dem Kasten von der Rotationsaxe weg zu neigen. Beim Anhalten des

1) Mach, Bewegungsempfindungen, S. 27.

Apparates glaubt er sich sammt der Umgebung wieder aufzurichten.

„Hängt in dem Papierkasten ein Pendel mit einem Gradbogen, so sieht man, dass bei den erreichbaren Rotationsgeschwindigkeiten dasselbe 10—20° ausschlägt. Dieses Pendel hält man nun bei der Rotation für vertical, den Kasten und sich selbst aber für schief. Doch schien es mir zuweilen, als ob die Verticale zwischen der Richtung des Pendels und der Axe meines Körpers enthalten wäre.“

Es ist also nicht wohl möglich, die Raddrehung der Augen als Theil der synergischen Bewegungscombination zu erklären, welche durch Empfindungen des Körpers von der veränderten Gravitationsrichtung ausgelöst würden. Denn der wohlunterstützte sitzende Körper macht überhaupt keinerlei derartige Bestrebungen der Gleichgewichtserhaltung.

Die Raddrehung der Augen tritt gleichmässig ein, ob die Richtung der Gravitationsbeschleunigung für Körper und Kopf verändert wird, wie in den letzteren Versuchen, oder nur für den Kopf, wie in den früher besprochenen mit Kopfneigung. Es ist also sicher, dass sie eine Reflexinnervation ist, abhängig von der Richtung der Massenbeschleunigung, welche auf ein Organ im Kopfe wirkt, wenn man auch die Abänderung in der Empfindung der Verticalen bei den Centrifugalversuchen „leidlich aus Empfindungen des ganzen Körpers erklären“ (Mach) könnte, wie es auch Schäfer versucht hat (Pflüger's Archiv 1887).

Es unterliegt keinem Zweifel, dass der Mensch unter normalen Verhältnissen ohne ein Sinnesorgan für die spezifischen Empfindungen der Lage des Kopfes auskomme, dass die Empfindungen des Körpers und die Gesichtswahrnehmungen ihn über seine Lage im Raum genügend aufklären. Es gibt aber Umstände, wo diese Orientirungsmittel grossentheils wegfallen. Im Wasser entfällt die Gravitationsempfindung der Glieder, sowie Druckempfindungen der Sohlen u. dgl. fast ganz. Schliesst man nun die Augen, so fragt sich, ob man über die Lage orientirt bleibt. Bei dem Versuch stellt sich heraus, dass dies doch der Fall ist. Wenn man, im Wasser schwimmend, mit den Armen die gebeugten Kniee umschlingend, sich zusammenkauert und nun mit geschlossenen

Augen sich ruhig hält und vom Wasser treiben lässt, so ist man doch im Umherkugeln nie im Zweifel, wo oben und wo unten ist. Auch unter diesen Verhältnissen könnte man auf die Empfindung von der Schwere des Kopfes recurriren, der ja spezifisch schwerer ist als Wasser. Hier tritt aber aufklärend eine Untersuchung an Taubstummen ein[1]), deren Kenntniss ich Herrn Prof. Mach verdanke.

James hat eine grosse Zahl von Taubstummen (519) aller Art darauf hin untersucht, ob sie durch Rotation schwindlig gemacht werden können. Während unter den Verhältnissen der Versuche von 200 Gesunden nur einer schwindelfrei sich zeigte, konnten von den 519 untersuchten Taubstummen 186 absolut nicht schwindlig gemacht werden. (Dass dieses bei der Mehrzahl gelingt, erklärt sich einfach daraus, dass die Taubstummen durchaus nicht sämmtlich oder in der Mehrzahl mit völligem Mangel des Labyrinthes behaftet sind, sondern dass ihre Taubheit durch die verschiedensten Bildungsfehler und Erkrankungen bedingt ist.) Viele von diesen „schwindelfreien" Taubstummen, gefragt, wie sie sich im Wasser verhielten, gaben an, sie würden, „wenn unter Wasser getaucht von einer unbeschreiblichen Verwirrung und Angst, ergriffen, welche erst weicht, wenn sie mit dem Kopfe über die Oberfläche des Wassers kämen. Ich erlaube mir, einige der sehr interessanten, von gebildeten Männern herrührenden Aufzeichnungen in extenso zu übersetzen:

Ein Taubstummer schreibt: „Ein Jahr nachdem ich das Gehör verloren, tauchte ich bei hellem Sonnenschein von einer Höhe herab ins Wasser und hatte unmittelbar, sobald ich darin war, die Orientirung verloren. Wo oben war, konnte ich nicht unterscheiden und ebensowenig wo der Grund war. Ich duldete Todesqual, während ich die Oberfläche zu erreichen suchte. Endlich, als ich schon alle Hoffnung aufgegeben hatte, war mein Kopf glücklicherweise über Wasser und ich Herr der Situation. Man erzählte mir, ich sei knapp unter der Oberfläche geschwommen, mit dem Rücken bald ausser Wasser, bald ganz eingetaucht."

Herr W. H.: „Wenn ich versuche unter Wasser zu tauchen, verliere ich unmittelbar alle Herrschaft über meine Bewegungen

---

1) Sense of dizziness in deafmutes by W. James. Harward Univ. Amer. Journ. of Otology, Oct. 1887.

und kann nicht sagen, wo oben und wo unten ist. Einmal stiess ich gegen etwas, aber ich weiss nicht, ob es der Grund war oder ein steiler Felsen nahe dem Ufer."

Herr A. S. L.: „Wenn ich mit dem Kopf unter Wasser komme, ist es mir unmöglich zu sagen, wo die Oberfläche und wo der Grund des Flusses oder des Teiches ist."

Herr M. C. ist nicht im Stande zu tauchen, ohne schrecklich geängstigt zu werden. „Bei geschlossenen Augen bin ich ganz verwirrt."

Herr C. P. F.: „Ich machte einmal einen Kopfsprung in nur zwei Schuh tiefes Wasser. Ich kam mit Händen und Füssen auf den Grund, mit dem Kopf unter Wasser. Augenblicklich schien es mir, ich sei in klaftertiefem Wasser, mit meinem Gesicht gegen ein Kliff, das ich mit Händen und Füssen zu erklimmen suchte. ... Ich hatte keine Empfindung, die mir gezeigt hätte, dass ich in horizontaler Lage war; meine Empfindung war die, ich stünde aufrecht im Wasser, das hoch über meinen Kopf reichte. Es schien Stunden zu dauern, bevor ich das Kliff erklettert hatte, obwohl mich mein Kriechen in einigen Sekunden in so seichtes Wasser brachte, dass mein Kopf über die Oberfläche kam. Sogleich schwand die Vorstellung, in verticaler Stellung zu sein, und ich fühlte mich in der Situation, in der ich wirklich war, auf Händen und Füssen im Wasser."

In diesem Sinne referiren 15 Taubstumme von 25, die durch Rotation nicht schwindelig gemacht werden können und welche den betreffenden Punkt des Fragebogens beantworteten. Zehn sagen, sie können ganz gut tauchen.

Bei diesen Angaben, die, von intelligenten Menschen stammend, völlig den Werth guter Versuche haben, ist nur auffallend, dass die Gesichtswahrnehmungen nicht immer zur Orientirung genügen. Es mag sein, dass in dem Moment des Eintauchens mit geschlossenen Augen die Desorientirung eintritt, und durch das Oeffnen derselben nicht alsbald wieder aufgehoben wird. Auf dergleichen Nebenumständen mag es auch beruhen, dass eine Minderzahl der gefragten Personen angibt, tauchen zu können.

Sicher aber ist, dass viele völlig Taube, bei welchen die Missbildung oder Vernichtung der Bogengänge durch die vollständige Abwesenheit des Drehschwindels sichergestellt scheint, — die Orientirung über die Richtung der Verticale verlieren, sowie durch

Immersion die Gravitationsempfindungen der äussern Körpertheile verschwinden. Da diese Orientirung bei Vollsinnigen immer erhalten bleibt, welche sich von diesen Tauben eben nur durch die Leistungsfähigkeit des Labyrinthes unterscheiden, so wird es schon durch diese Beobachtungen höchst wahrscheinlich, dass die Entstehung der specifischen Empfindung für die Lage der Verticale in das Labyrinth zu verlegen ist.

Wir können die vorstehenden Darlegungen dahin zusammenfassen, dass es sicher specifische Empfindungen für die Lage des Kopfes im Raume giebt, dass dies Empfindungen der Massenbeschleunigung, gewöhnlich der Gravitationsrichtung sind, dass sie im Innern des Kopfes entstehen, bei vielen Taubstummen fehlen.

Viel weniger Bestimmtes lässt sich über die Empfindung progressiver Bewegung aussagen. Es ist wohl sicher, dass progressive Bewegung vom Menschen relativ schlecht percipirt wird; relativ, wenn man dagegen hält, mit welcher Feinheit man Rotationsbewegungen (Winkelbeschleunigungen) wahrnimmt und die Stellung des Kopfes zur Verticalen beurtheilt.

Mach findet, dass er im Eisenbahnwagen zwar bei gleichbleibender Geschwindigkeit sich beliebig vorstellen könne, nach vorwärts oder nach rückwärts zu fahren, aber nicht während des Anfahrens-oder Anhaltens des Zuges, also bei positiver oder negativer Beschleunigung der Translation. Delage findet bei den gewöhnlichen Geschwindigkeiten des Anfahrens und Anhaltens könne er auch in diesen Momenten die Vorstellung von der Bewegungsrichtung beliebig invertiren. Bei besonders langsamem Beginn der Bewegung kann ich das auch; gewöhnlich befinde ich mich in dem Fall, wie Prof. Mach. Aber die Empfindungen des veränderten Druckes und der Verschiebung in der Haut des Rückens und des Gesässes sind dabei sehr deutlich.

Delage gibt an, Beschleunigungen von 23 cm in der Sekunde eben noch wahrzunehmen. (Aubert bemerkt, dass „die Beschleunigungen auf Eisenbahnen nicht sehr viel grösser sind als die des Delage'schen Apparates. Eine negative Beschleunigung von 34 cm pro 1″ würde genügen, um in 49″ einen Zug einzuhalten, welcher mit einer Geschwindigkeit von 60 km in der Stunde fährt.“

Auch das kommt aber gewöhlich nicht vor. Unser schnellster Expresszug fährt auf ebenem Terrain 64 km in 66 Minuten; angenommen, dass er in zwei Minuten seine volle Geschwindigkeit erreicht habe (es werden gewöhnlich 2′ 30″ darauf gerechnet), so ergiebt das eine Beschleunigung von 0,14 m pro Sekunde, also viel weniger als das Delage'sche Minimum. Ausnahmsweise erfährt man grosse (negative) Beschleunigungen bei sehr starkem Bremsen des Zuges. Dabei hat aber auch Delage „völlig spontan die Empfindung einer Umkehr der Bewegungsrichtung" erfahren.)

Für die Empfindung der Winkelbeschleunigung und der Lage lässt sich durch Veränderung der Kopfstellung der Beweis führen, dass solche Empfindungen im Kopfe entstehen. Für die Wahrnehmung der Translation gelingt das nicht. Der Grund liegt darin, dass gewöhnliche Translationsgeschwindigkeiten zum Unterschied von Rotationen nur ganz kurze, momentane Nachempfindungen geben.

Ich habe früher einmal angegeben, dass ich beim Auffahren in den Aufzügen unserer Gebäude im Moment des Anhaltens die Empfindung habe, einen Augenblick lang nach unten zu sinken. (Natürlich ist da nur von solchen Aufzügen die Rede, die nicht wirklich eine kurze Strecke sinken.) Ich kann hinzufügen, dass in diesem Moment des Anhaltens meine Augen sich etwas nach aufwärts bewegen; denn wenn ich während des Auffahrens einen Punkt der mit mir bewegten Wand, einen Knopf oder dergleichen fixire, so scheint mir dieser beim Anhalten nach Abwärts zu gehen. Aber während bei Rotation die Nachempfindung (Scheinbewegung der Objecte) so lange dauert, dass man sich leicht davon überzeugen kann, wie sie bei veränderter Stellung des Kopfes die Richtung ändert (Purkynje'scher Versuch), ist das bei der nur momentanen Scheinbewegung nach Translatation nicht möglich, eben wegen der zu kurzen Dauer derselben.

Mach[1]) hat in seinem Rotationsapparate durch höchst geistvolle Versuchsanordnung translatorische Scheinbewegungen erzeugt, die mehrere Sekunden angedauert haben. Aber „ob die Richtung der Bewegungsnachbilder sich mit einer Kopfwendung ändert, konnte nicht entschieden werden, da es selbst durch eine Axenführung nicht möglich war, den Kopf blos um eine der Apparat-

1) a. a. O. p. 39.

Rotationsaxe parallele Axe zu drehen. Bei jeder andern Drehung treten aber die subjectiven Analoga der Schwungmaschinenversuche so betäubend auf, dass alles übrige unbemerkt bleibt."

Man kann also wohl als wahrscheinlich annehmen, dass der Sitz auch der Translationsempfindungen im Kopfe liege, weil „sich wahrscheinlich die Empfindungen der Winkel- und der Progressivbewegungen durchaus analog verhalten" (Mach); bewiesen aber ist dies bisher nicht.

Eine Bemerkung drängt sich hier auf. Man darf vermuthen, dass bei den Säugethieren (und Menschen) die Empfindung für Translation verkümmert sei, verglichen mit derjenigen bei Fischen und Vögeln. Während diese vom Wasser geschwemmt oder vom Winde getrieben werden und ihnen eine scharfe Wahrnehmung dieser passiven Bewegung nützlich und nothwendig ist zur zweckmässigen Regelung ihrer Schwimm- und Flugbewegungen, ist das Landsäugethier fast nie passiv bewegt. Für die Geschwindigkeit seiner activen Bewegung hat es aber das Maass in dieser selbst. Es ist also nicht unwahrscheinlich, dass die Perception geradliniger Fortbewegung bei Fischen und Vögeln schärfer ist, als wir sie durch Beobachtung an uns selbst finden.

Wir fassen das Erörterte dahin zusammen, dass die Wahrnehmung der Fortbewegung beim Menschen stumpfer ist, als die der Rotation und Lage; dass sie im Gegensatz zur Rotationsempfindung bei gewöhnlichen Beschleunigungen nur momentane Nachempfindungen gibt (bei sehr grossen Beschleunigungen nach Mach auch Nachempfindungen von mehreren Secunden Dauer), dass ihr Ursprung im Kopfe zwar wahrscheinlich, aber nicht bewiesen ist.

III. Anatomisches.

Ich beabsichtige im Folgenden nur jene Punkte in der Topographie und Histologie unseres Sinnesorganes zu besprechen, welche von Wichtigkeit für die hier discutirte Frage sind. Indem ich diese darlege, muss ich auch hier grösstentheils schon bekanntes vorführen, umsomehr als das häutige Labyrinth in letzter Zeit Gegenstand so vieler und ausgezeichneter Arbeiten gewesen ist. Bei controversen Punkten werde ich die Anschauung darlegen, zu welcher ich gelangt bin, ohne immer in eine Discussion der verschiedenen Meinungen einzugehen, um diese functionell-physio-

logische Abhandlung nicht allzusehr mit histologischem Detail zu überladen.

Wie die Ampullen der Bogengänge, so haben auch die Otolithenmembranen der verschiedenen Wirbelthierklassen einen in den Grundzügen sehr analogen Bau, trotz vielfacher Variationen im Einzelnen. Sie bestehen aus einer flächenhaften Ausbreitung des, an diesen Partieen verdickten, Spindelzellenknorpels; diese trägt eine Platte von (mit Stützzellen und theilweise andern Epithelzellen vermischtem) „Nervenepithel“. Es sind dies bauchige Epithelzellen, die am centralen Pol mit Nervenfasern in Verbindung, am peripheren, platten Ende ein Haar tragen. Diese Haare biegen bald nach ihrem Austritt aus den Zellen in eine der Membranfläche parallele Richtung um und treten dabei in ein aus ihnen und andern faserähnlichen Gebilden bestehendes Flechtwerk (membrana tectoria), in welchem die Haare am gehärteten Organe nicht mehr einzeln unterschieden werden können. Dieses Bild ist vielleicht ein Kunstproduct. Im Leben besteht dieses flächenhafte Gebilde vielleicht nur aus den Haaren und einer gelatinösen Substanz; durch die härtenden Reagentien müsste dann diese letztere in ein Netz von Fasern verwandelt werden, in welchem die Haare der Beobachtung entschwinden. In der Flächenansicht erscheinen am gehärteten Präparate die Räume zwischen den Fasern als Vacuolen. Die membrana Corti bietet bei Vögeln an ihren dünneren Stellen ganz dasselbe Bild (membrana fenestrata). Feine Durchschnitte zeigen bei Vögeln, dass die Zellhaare bei ihrem Eintritt in das Fasernetz zu Knotenpunkten desselben werden; das heisst, dass sie nicht in Vacuolen treten, sondern die Geflechtfasern sich an sie ansetzen (Fig. 18. Sacculus der Taube).

Diese membrana tectoria liegt dem Epithel nicht unmittelbar auf, sondern es besteht dazwischen ein freier Raum, durch welchen hindurch die Haare von den Epithelzellen in das Flechtwerk treten; und dabei um fast 90° die Richtung ändern, wie ein ebensolcher freier Raum zwischen dem Ampullenepithel und der cupula terminalis besteht.

Wenn in einem mit Celloidin gefüllten Labyrinth dieses schrumpft, hebt es die membrana tectoria von der Epithelfläche etwas ab; dabei werden die Haare gestreckt und wohl auch gezerrt und man findet dann jenen von den Haaren durchzogenen Zwischenraum vergrössert (Fig. 17).

Auf der Deckmembran liegt der Otolith; bei Knochenfischen ein grosser, derber, radiär gefaserter, concentrisch geschichteter Knochen; bei den andern Wirbelthieren eine Platte, bestehend aus mehreren oder vielen Schichten von mikroskopischen Kalkkrystallen (Otokonien), welche durch ein schleimiges Bindemittel zusammengehalten werden. Bei manchen Thieren, z. B. dem Frosch, der ja auch am Centralnervensystem so reichliche Anhäufungen von Kalkkrystallen zeigt, sind die Otokonien (der macula sacculi) unverhältnissmässig massenhaft angehäuft und bilden ein kugeliges Concrement. Bei Vögeln und Säugern entspricht die Otokonienplatte in Form und Ausdehnung genau dem Nervenepithel.

Am derbsten und klarsten ist der geschilderte Befund an Knochenfischen. Hier bietet die Präparation einige Schwierigkeit, weil sich der Otolith leicht sammt der membrana tectoria vom Epithel ablöst, besonders aber nach der Entkalkung bei der Behandlung mit Alcohol sich aufbiegt und dabei von der papilla nervosa abreisst. Es gelingt, das dadurch zu vermeiden, dass das Organ in Flemming'scher Lösung entkalkt, ausgewaschen, mit Glycerinleim getränkt und dann mit diesem in Alcohol gehärtet wird. — Betrachtet man eine membrana tectoria eines Knochenfisches, welche sich bei der Celloidinbehandlung vom Epithel abgehoben hat, von der Unterfläche, so zeigt sich das Bild einer Bürste (Fig. 4); man sieht die Haare, welche sich in die dicke Deckmembran einsenken. Betrachtet man, wie in Abbildung Fig. 5, den Querschnitt des durch die Leimmethode mehr minder in situ erhaltenen Otolithenapparates (sacculus vom Hecht, senkrecht auf die Längsausdehnung der papilla nervosa geschnitten), so sehen wir zunächst den Querschnitt des Otolithen; dieser zeigt eine tiefe Furche, in welche Zacken vorspringen. In ihr liegt (am gehärteten Präparate sie nicht ganz ausfüllend) eine homogene, im Leben wohl gelatinöse, mit Vacuolen versehene Masse, welche am besten mit dem Aussehen von Schweizerkäse verglichen werden mag. Der Furche im Otolithen entspricht (in etwas grösserer Breite) die papilla nervosa, mit hohem „Nervenepithel“ und zwischen diesem und jener gelatinösen Füllmasse der Furche liegt die eigentliche membrana tectoria. Diese erscheint als ein aus homogenen, glänzenden Strängen bestehendes kuppelförmiges Flechtwerk, nach oben begrenzt durch eine ganz homogene Schicht. Die dem Epithel zugewandte Unterseite zeigt feine, ins Flechtwerk aufsteigende Linien,

welche man auf solchen Präparaten nicht sicher mit Zellhaaren identificiren kann.

Im Längsschnitt desselben Organes (Figur 6 und 7) ist das Bild entsprechend verändert. Auch hier sieht man oben den Otolithen; darunter, da der Schnitt in die Furche fällt, die vacuolendurchsetzte Füllmasse, unter dieser die membrana tectoria und das Epithel. Hier macht die membrana tectoria noch viel stärker den Eindruck einer mehrschichtigen Geflechtmatte. Sie wurde am abgebildeten Präparate beim Durchschneiden des mit Leim gefüllten Sacculus etwas von der papilla nervosa abgedrängt und dabei an der Schnittstelle aufgefasert. Wo sie sich der Papille wieder anlegt, sieht man Fäden vom Epithel in das Geflecht treten, die man hier eher für Zellhaare ansprechen darf. Ich würde das aber nicht wagen, wenn man nicht den oben angeführten Befund der Unterfläche abgelöster Deckmembranen zum Vergleich hätte.

Kuhn und Retzius sahen die Zellhaare vom Epithel weg in feine Oeffnungen der gallertigen Deckmembran treten. Ich kann über diesen gewiss richtigen Befund nichts aussagen, da meine Methode diese Beobachtung ausschloss. Jedenfalls sind diese Oeffnungen nicht identisch mit den Vacuolen der Füllmasse.

Der hier gegebenen Darstellung widerspricht die Abbildung durchaus nicht, welche Hensen[1]) vom Otolithensack von Gobius gibt. „Die Zellen des Epithels tragen Härchen gleicher Art wie die der Crista, nur sind sie viel kürzer. Der Otolith wird von diesen Härchen getragen, so dass er von ihnen gehalten in der Endolymphe schwebt. Von dieser Thatsache kann man sich sehr leicht an durchsichtigen ganz jungen Fischen überzeugen, deren Otolithen sehr klar sind und von relativ langen Härchen umfasst werden. Bei älteren Fischen liegt der Stein sehr dicht an der Wandung an, aber auch hier tragen ihn die Härchen, welche mit ihrer Spitze in einem Saum, der die Otolithen zu umgeben scheint, eingeheftet sind.“

Da der Otolith des Sacculus vertical steht, die Härchen (auch in Hensen's Abbildung) horizontal von der papilla nervosa zu ihm hinüberziehen, so kann der Ausdruck, der Otolith werde von ihnen getragen, kaum buchstäblich gemeint sein. Sonst stimmt die Abbildung ganz wohl mit meiner Auffassung der Verhältnisse.

---

1) Hermann, Handbuch der Physiol. III. Bd. 2. Theil, p. 71.

Da Otolith und pap. nervosa ganz im Profil gesehen und gezeichnet sind, ist ein Einblick in die Furche nicht möglich und man kann daran nicht sehen, ob die Härchen umbiegen und in der Furche parallel der Papille verlaufen, wie ich es finde, oder nicht.

Noch eine Bemerkung will ich nicht unterdrücken, weil sie von Wichtigkeit scheint für die Vorstellung, welche man sich überhaupt von den lebenden Deckmembranen zu machen hat. Wir sehen in der Füllmasse der Furche über der membr. tectoria und in dem Flechtwerk dieser, (im gehärteten Präparat), zwei im Leben ganz homogen und durchsichtig erscheinende gelatinöse Substanzen, die aber unter dem Einfluss der Reagentien völlig verschiedene Produkte geben; die erstere eine homogene vacuolenhaltige Masse, die andere eben jene Geflechtmatte von Fasern. Man muss wohl annehmen, dass dieser Differenz schon im Leben ein Unterschied entspreche. Es fragt sich nun, ob das ein chemischer sei, wie etwa Eieralbumin und Fibrin verschieden coaguliren, das erstere homogen, das letztere faserig; oder ob man annehmen soll, dass die faserige Structur der membr. tectoria schon im Leben bestehe, wenn auch unsichtbar. Ich halte das letztere für wahrscheinlich und habe dafür einen Befund an der Vogelschnecke anzuführen. An dieser zeigt die gehärtete membr. tectoria (fenestrata, Corti), wie schon bemerkt, analogen Bau, als eine Geflechtmatte von faserähnlichen Gebilden. Diese setzen sich an eigenthümliche helle Epithelzellen („Zahnzellen") an und ziehen von diesen zu den Haarzellen. Auf einem geeigneten Längsschnitt, der eben genau diese Faseransätze an den Zahnzellen abkappt, und letztere in der Ansicht von oben bietet, sieht man, dass jede Zelle auf der Mitte ihrer Oberfläche ein Klümpchen homogener, stark lichtbrechender, vom Färbereagens dunkler tingirten Substanz trägt, eben die Ansätze der Fasern der membrana Corti. Wenn nun hier diese Fäden so gesonderte Ansätze und Ursprünge haben, werden wir auch annehmen müssen, dass die analogen Gebilde der andern Deckmembranen auch in diesen einige Individualität behalten, und der Befund des Lebens in dieser Beziehung nicht wesentlich verändert, sondern nur sichtbar geworden ist, wenn wir am gehärteten Organ die Geflechtmatte finden. Dies scheint mir nicht ganz unwichtig, wenn ich sehe, wie deutlich die Fasern bestimmte Richtungen einhalten. So ist an den Präparaten ersichtlich, dass dieselben auf der papilla sacculi vom Hecht auf der einen Seite von links nach rechts, auf der andern von rechts nach links vom Epithel aufsteigen. (Die erstere Richtung ist auf einer kürzeren Strecke sichtbar, weil der Sacculus jenseits der Mitte durchgeschnitten und nur die eine grössere Hälfte zu Längsschnitten verwendet ist.) Ich meine, dass die Faserrichtung analog der Richtung der Zellhaare ist, d. h. mit derselben zusammenfällt und die Schleimfäden die Zellhaare umgeben, wie in der cupula terminalis der Ampullen. — Es könnte anderseits auch die Faserung der Deckmembran durch die Zellhaare selbst in der Weise bedingt sein, dass beim Coaguliren die früher homogene Masse sich an die Haare anlegt, sie mit Hüllen von

coagulirtem Schleim umgebend. Manche Bilder bei Vögeln sprechen dafür; aber es ist doch unwahrscheinlich, dass die Haare bei Fischen lang genug seien, um auf diese Weise ein so massiges Geflecht zu erzeugen, wie es die Präparate darbieten. So ist der Befund am Sacculus-Lagena des Hechtes. In andern Fällen, z. B. am Utriculus junger Barsche (Fig. 8), sieht man keine käseähnliche Füllmasse, sondern die Fäden ziehen vom Epithel weg zum Otolithen und treten tief in seine Furche ein. Wie lange die Zellhaare sind, kann man unter diesen Verhältnissen nicht angeben.

Ich resumire das für die Function Wichtige dahin: Die Zellhaare sind nicht gerade, senkrecht auf der Epithelplatte, sondern sie biegen nach kurzem Verlauf ab, liegen dann parallel der papilla nervosa in der gelatinösen Substanz und die so gebildete Deckmembran ist auf ihrer äusseren Fläche mit dem Otolithen oder Otokonien beschwert. Zwischen den massiven Otolithen der Knochenfische und der Deckmembran liegt manchmal noch die gelatinöse Füllmasse.

Einige interessantere Einzelheiten werden später noch anzuführen sein; wir wenden uns aber jetzt der Topographie unseres Organes zu.

Der Otolithenapparate haben alle Wirbelthiere, von den Teleostiern an, mit Ausnahme der Säuger drei auf jeder Seite (macul. utriculi, sacculi, lagenae); die letzteren nur zwei, indem bei ihnen die Lagena fehlt, auf deren Kosten sich die Gehörschnecke (pars basilaris cochleae) weiter entwickelt hat.

Diese drei resp. zwei Otolithenapparate stehen in ebenso constanten räumlichen Verhältnissen zu einander, wie die drei Bogengänge. Für den Nachweis dieser wichtigen Thatsache ist einiges Eingehen in Details nothwendig und unvermeidlich.

Unter den Knochenfischen bietet der Hecht die klarsten und durchsichtigsten Verhältnisse (s. Fig. 1 u. 2). Wie bei allen Knochenfischen, man kann sagen, bei allen Wirbelthieren, bildet beim Hecht der recessus utriculi eine annähernd horizontal gelagerte Schale, deren Grund von der macula utriculi eingenommen wird, auf welcher der Otolith des Utriculus aufruht. Darunter liegt als eine eiförmige, mit der schleimigen Endolymphe gefüllte Blase, mit dem längeren Durchmesser longitudinal und horizontal gelagert, der Sacculus und, mit ihm einen gemeinsamen Hohlraum bildend, die bei andern Fischen abgetrennte Lagena. Dem entsprechend hat der Sacculus-Lagena zwei Otolithen und zwei papillae nervosae.

Der Otolith des Sacculus liegt der medialen Wand an, steht mit seiner inneren Fläche annähernd senkrecht. Diese besitzt eine von vorne nach hinten verlaufende tiefe Furche, und ihr entspricht in der oben p. 215 geschilderten Weise die lange, schmale, horizontal von vorne nach rückwärts verlaufende Papilla nervosa sacculi.

Am hinteren, breiten Pol des eiförmigen Sacculus befindet sich der Otolith der Lagena, an Form einer Orangenspalte ähnlich. Er liegt mit seiner schmalen convexen Fläche, senkrecht stehend, der Wand des Sackes an und ragt von hinten nach vorne in die Höhlung desselben hinein. Die Papilla nervosa lagenae begleitet die mediale Kante seiner convexen Fläche, steht also auch senkrecht von oben nach unten, in sagittaler Ebene des Schädels, als schmaler Streifen über die kugelige Wand des Sackes verlaufend. Die gegenseitige Stellung der beiden Maculae hat Kuhn[1]) schon angemerkt: „Der Hohlraum des Sacculus geht beim Hechte ununterbrochen in die Lagena über; dieselbe“ (soll wohl heissen die Papilla nervosa derselben) „liegt senkrecht zur Macula sacculi am hintern abgerundeten Ende des Sackes“.

Da die Macula s. papilla sacculi und lagenae senkrecht auf einander stehen, sonst aber analogen Bau haben, muss ein Längsschnitt der Macula sacculi, der auch noch die Lagena trifft, diese quer schneiden. Wir haben oben gesehen, ein wie verschiedenes Bild die Membrana tectoria im Längs- und im Querschnitt bietet. An solchen Schnitten (Fig. 6) ist nun auch deutlich zu sehen, dass die Membrana tectoria lagenae, horizontal geschnitten, dasselbe Bild gibt wie die Membr. tect. sacculi auf dem Schnitt in der Transversalebene des Kopfes, also quer geschnitten. Man sieht die Wand sich gegen den Otolithen hin verdicken, das Epithel wird höher und von ihm ziehen die Stränge zu der medialen Fläche des Steines, welcher sich das Geflecht ansetzt.

Ich habe dieser Darstellung noch einige nicht sehr wesentliche Correcturen beizufügen. Es scheint mir die Macula utriculi nicht wirklich horizontal zu liegen, sondern etwas von lateral oben nach medial innen geneigt zu sein. — Der Otolith des Sacculus dagegen steht nicht ganz senkrecht, sondern von medial oben

1) Kuhn, Unters. üb. d. häutige Labyrinth d. Knochenfische. Arch. f. mikr. Anat., 14. Bd. S. 296.

nach lateral unten geneigt. Das ändert nichts am Verlauf der Macula sacculi (horizontal von vorne nach rückwärts). Aber es hilft die Fixation der schweren Otolithen erklären. Sie sind durch die Schleimschicht der Wand angeklebt, und ihr Gewicht wird verringert dadurch, dass sie theilweise der unteren Wand aufruhen.

Sollte den Otolithen eine Verschiebung in geringem Maasse möglich sein, so könnte eine solche, ohne sie loszureissen, nur parallel der Sackwand, an ihr gleitend, stattfinden. Aber auch eine solche ist nicht in jeder Richtung dieser Ebenen möglich. Am Utriculus zwar finde ich keine Anzeichen, durch welche eine bestimmte Richtung bezeichnet würde. Am Otolithen des Sacculus aber ist eine noch so minimale Bewegung von oben nach unten ausgeschlossen, weil die Papilla nervosa sammt Deckmembran in die Longitudinalfurche eingefalzt ist. Und ebenso ist an der einseitig neben dem Stein vorspringenden Papilla lagenae nur ein Gleiten in der Verticalrichtung denkbar.

Eine solche (minimale) Verschiebung des Otolithen würde die in die Membrana tectoria eingehenden Zellhaare je nach dem Sinne der Bewegung und der Richtung der Haare spannen oder erschlaffen. — Nennen wir die Richtung, in welcher eine solche Verschiebung möglich ist, die Gleitrichtung, so haben wir an dem Otolithenapparat des Hechtes, wie gesagt, zwei solche Gleitrichtungen bestimmt determinirt, am Sacculus in der Längsaxe, an der Lagena in der Verticalaxe des Kopfes, während sie für den Utriculus horizontal sein muss, aber nicht näher fixirt werden kann.

Grösseren Schwierigkeiten begegnen diese Feststellungen bei andern Fischen; zwar der Utriculus ist ziemlich immer analog gebaut und gelagert, und die Macula sacculi ist immer schmal, lang und von vorne nach hinten gerichtet. Auch steht die Macula lagenae immer vertical; aber so deutlich wie beim Hecht ist es bei andern Fischen nicht, dass für diese eine Gleitrichtung des Otolithen der Lagena nur von oben nach unten (und umgekehrt) statthaben könne. Ein Indicium für diese Verhältnisse liegt wohl in der Richtung der Längenausdehnung der Macula lagenae, und wo überhaupt eine Dimension der Macula lagenae überwiegt, ist es die von oben nach unten. Bei Durchsicht des grossartigen Werkes von Retzius findet man unter 44 Spezies von Fischen, deren Labyrinthe abgebildet sind, 21, bei denen an der Macula lagenae

deutlich die Ausdehnung von oben nach unten überwiegt, während bei den übrigen keine Dimension die andere bedeutend übertrifft. Ich meine daher den Befund vom Hecht generalisiren zu dürfen und nehme an, dass Schlüsse, die aus diesem zu ziehen sein werden, auch auf die anderen Fische Anwendung finden.

Bei den Fröschen fehlt mit den massiven, festen Ohrsteinen auch die gewaltige Entwickelung der Deckmembranen. Die Anhäufung von Otokonien, deren Umfang am Sacculus die Ausdehnung der Papilla nervosa weit übertrifft, ist zwar eine wahrhaft luxurirende. Es scheint aber doch, dass die Nervenendapparate gegen den Brei von mikroskopischen Kalkkrystallen nicht so viel Schutz brauchen wie gegen die relativ gewaltigen schweren Knochen der Knochenfische. Der Kürze halber will ich im Folgenden auch die Otokonienmassen als Otolithen bezeichnen.

Bei Knorpelfischen beginnt die eigenthümliche Orientirung des Labyrinthes in verticalen, in Bezug auf den Schädel diagonalen Ebenen, welche sich dann bei Amphibien, Reptilien, Vögeln und Säugern erhält. Indem die Seitenwand des Hinterschädels, in welcher der „Sagittalgang“ (vorderer verticaler) und die mediale Wand des Vestibulums verläuft, von vorne aussen nach hinten innen steht und mit der Medianebene einen Winkel von etwa 45° einschliesst, ist damit auch die Ebene des „frontalen“ Bogenganges gegeben, der auch vertical aber senkrecht auf jenem steht, nämlich von vorne innen nach hinten aussen. Verticale Schnitte geben klare Bilder, wenn man sie in dieser letzteren Ebene anlegt. Wir werden der Kürze halber im Folgenden diese als „frontale“ (Ebene des Frontalganges), die andere als „sagittale“ bezeichnen, im Unterschiede von der frontalen und sagittalen Ebene des Kopfes, welche Bezeichnungen ohne Anführungszeichen gedruckt sind. Beim Frosch finden wir wieder 3 Otolithenmembranen: die Macula utriculi, welche horizontal steht, die Macula sacculi, vertical in „sagittaler“ Ebene, und die der Lagena (Fig. 9). Diese erscheint auf dem (horizontalen) Querschnitt als ein hohler Halbcylinder, eine Rinne (Fig. 10 u. 11); sie ist kurz und ihre Axe steht von oben innen nach aussen unten. Die Ebene, die sie in der Richtung ihrer Längsaxe halbiren würde, ist parallel derjenigen des Frontalkanales „frontal“. Die Rinne ist innen bedeckt mit einer Membrana tectoria, im Leben wohl gallertiger Masse, in welche man die Zellhaare eindringen sieht, und darauf liegt ein ziemlich massiger (Otokonien-) Otolith,

unten, wie es scheint, gestützt von der nach aussen vorspringenden Wand.

Wir haben also hier drei Otolithenmembranen, die in den Ebenen der drei Bogengänge liegen. Von Bestimmung einer eventuellen Gleitrichtung kann nur bei der Lagena die Rede sein. Bei ihr ist der halbcylindrischen Form halber eine Verschiebung des Otolithen nur in der Längsrichtung der Rinne, also im Sinne: oben-unten möglich.

Ueber die Befunde von Reptilien habe ich keinerlei eigene Erfahrung, und ich wende mich zur Darstellung der Verhältnisse bei den Vögeln.

Auch diese besitzen 3 mit Otolithen (Otokonienplatten) versehene Maculae, und auch hier besteht ein auffälliges Zusammenfallen der Lage dieser Otolithenapparate mit den Ebenen der Bogengänge (s. Fig. 12). Die Macula utriculi liegt in der Ebene des Horizontalganges, die Macula sacculi an der Schädelwand, von vorne aussen nach hinten innen gestellt, in der Ebene des Sagittalganges, das untere Ende der Schnecke mit der Lagena annähernd in einer dem Frontalgang parallelen Ebene. Diese Analogien brauchen aber einige Rectificationen und genauere Bestimmungen.

Die Lage der Otolithen in Bezug auf die Ebenen des Kopfes am aufpräparirten häutigen Labyrinth zu bestimmen, ist aus naheliegenden Gründen schwierig und unverlässlich. Auch die Construction aus Schnitten ist wohl nur zur Controlle verwendbar. Ich habe folgende Methode gebraucht. An kleinen Vögeln, Meisen, Finken oder dgl. wird das knöcherne Labyrinth in Verbindung mit dem Schädel möglichst rein präparirt und dann durch Behandlung mit Alcohol, Xylol und Damar oder Canadabalsam durchsichtig gemacht, in letzterem aufbewahrt. Man sieht dann durch die glashellen dünnen Knochenplatten hindurch die Otolithenmembranen im auffallenden Licht als opake weisse, im durchfallenden als schwarze Flecke. Indem man das Präparat von einer bestimmten Ausgangsstellung so dreht, dass die betreffende Macula im optischen Querschnitt als Linie erscheint, lässt sich ihre Lage mit derjenigen der Canäle vergleichen und mit hinreichender Genauigkeit feststellen. — Ich werde im Folgenden den Schädel immer so annehmen, dass die Medianebene vertical, die horizontalen Gänge wirklich horizontal stehen.

1. Macula sacculi. Der Grund des Säckchens hat die lang-

elliptische Gestalt eines Weizenkorns, der lange Durchmesser liegt genau in der Ebene des horizontalen Bogenganges, der Schädelwand fest anhaftend, verläuft also horizontal von aussen vorn nach hinten innen. Der kurze Durchmesser verläuft nicht vertical, sondern von oben innen nach aussen unten, so dass die Oberfläche der Otolithenmembran unter einem Winkel von 45°—50° nach aussen hinten unten geneigt ist (Fig. 13, sacc., 14, 15). Horizontalschnitte parallel zu der Längsaxe zeigen die Oberfläche immer ganz geradlinig, eben; Verticalschnitte zeigen sie mässig eingebogen mit der Concavität nach aussen. Ich meine aber, dass vielleicht diese Concavität der Fläche im Leben nicht so besteht, sondern durch die Schrumpfung des Knorpels im Alcohol bedingt ist, welche natürlich am stärksten dort wirkt, wo der Knorpel am dicksten ist, in der Mitte. Ich schliesse dies daraus, dass man an Präparaten, an denen sich die Membrana tectoria mit dem Otolithen losgelöst hat, diese vollständig eben findet. Der Bau der Macula ist der oben S. 214 geschilderte. Die Zellhaare convergiren sowohl auf verticalen als auf horizontalen Schnitten von den beiden Enden gegen die Mitte zu.

2. Macula utriculi. Sie bildet den Boden des Recessus utriculi und hat die Gestalt eines nicht ganz regelmässigen Trapezes. Der längere Durchmesser liegt in der Ebene des Horizontalgangs und steht von aussen hinten, nach vorne innen, parallel der „Frontal“-ebene, also im Durchschnitt der „frontalen“ und „horizontalen“ Ebene, wie der lange Durchmesser des Sacculus im Durchschnitt der „sagittalen“ und „horizontalen“ Ebene. Der kürzere Durchmesser liegt in „sagittaler“ Ebene, aber nicht ganz horizontal, sondern schliesst mit der Horizontalen einen nach vorne offenen Winkel ein (ca. 10°); die Macula ist also von vorne aussen, nach hinten unten etwas geneigt. Durchschnitte in „frontaler“ Ebene zeigen die Macula vollständig eben, solche in „sagittaler“ Ebene etwas muldenförmig, am vordern und hintern Rande aufgebogen. Hier kommt diese Gestalt sicher nicht von Schrumpfung des Knorpels, sondern ist im Bau des Organs begründet. Man sieht sie an Tauben auch an der frisch aufpräparirten Macula deutlich. Die Zellhaare convergiren auf Schnitten jeder Richtung von der Peripherie gegen die Mitte zu, wenn auch viel deutlicher auf „frontalen“ als auf „sagittalen“ Durchschnitten.

Ich möchte hier auf einen Befund aufmerksam machen, den ich nirgend erwähnt finde, und der einiges Interesse zu haben scheint. Im vorderen in-

nern Winkel des Recessus finde ich bei den untersuchten Vögeln constant einen von Osmiumsäure dunkel tingirten tropfenförmigen, vacuolenhaltigen Klumpen auf dem Otolithen aufruhend (Fig. 17). Nach oben und besonders nach oben innen fasert sich derselbe auf, und die daraus hervorgehenden Fäden sind auf dickeren Schnitten weit verfolgbar. Sie erinnern lebhaft an die Linien, die man in der Cupula terminalis sieht, sind aber zarter, von eigenthümlich zittrigem Contour und durchziehen den Hohlraum des Utriculus in geschwungenen Curven. Deshalb gelingt es auch nicht leicht einen solchen Faden bis zu der obern und innern Wand zu verfolgen, gegen die sie alle doch offenbar verlaufen. Dort ist die Wand mit den protoplasmareichen körnigen Epithelzellen versehen, auf denen man so häufig Schleimkugeln aufsitzen sieht, und die allgemein für Secretionszellen gehalten werden. Mir scheint am wahrscheinlichsten die Deutung des Befundes, dass für die Erhaltung der Schleimsubstanz, welche die Otokonien zusammenhält, ein Depot davon auf dem Otolithen liegt, welches mit den hier weit entfernten Secretionszellen durch jene Fäden in Verbindung steht. An andern Otolithenmembranen habe ich nichts ähnliches gefunden. Interessant scheint mir der Befund, weil er die Schleimsubstanz allein zu beobachten gestattet und zeigt, dass sie mindestens im gehärteten Zustand Vacuolen besitzt, wo von einer Beziehung zu Zellhaaren keine Rede sein kann und dass sie die Fähigkeit hat, haarähnliche Fäden von grosser Feinheit und langem Bestande zu bilden. Die Tinctionsfähigkeit der fraglichen Substanz ist an der Macula utriculi dieselbe wie in den Cupulis und an der Membrana Corti (der Vögel).

3. Lagena. Die genauere Bestimmung ihrer Stellung ist nur bei Beobachtung im unverletzten Knochengehäuse oder auf Schnitten möglich, da der Knorpelrahmen der Schnecke, besonders nach der Härtung, stark federt, und vom Knochen befreit, weiter nach hinten tritt, als die normale Richtung ist.

Die Schnecke der Vögel (von viel einfacherem Bau als die der Säuger) beschreibt bekanntlich nicht ganz eine halbe Spiralwindung. Vor der Amp. frontalis beginnend, zieht sie nach unten parallel der Ebene des frontalen Canales, von derselben etwas nach vorne abweichend, um die innere Schädelwand herum. Aber auch diese Strecke ist nicht vollständig für die Pars basilaris (Hörschnecke) verwendet, sondern das blinde Ende ist eingenommen von einem flaschenähnlichen Gebilde, eben der Lagena, deren Form am Besten mit der Glans penis zu vergleichen sein dürfte. Denkt man sich dieses letztere Organ hohl, die Haut an den oberen $^2/_3$ des Umfanges durch nervenführenden Knorpel ersetzt, der an seiner Innenfläche Nervenepithel, Deckmembran und Otolithen trägt,

das untere Drittel des Umfanges durch eine stark vascularisirte helle und körnige Zellen tragende Membran (Tegmentum vasculosum), so hat man ein ziemlich zutreffendes Bild der Vogel-Lagena. Die Knorpelplatte sammt Nervenendapparat krümmt sich aber nicht entsprechend dem Contour des knöchernen Gehäuses, sondern dieselbe bildet $^{2}/_{3}$ vom Mantel eines abgestutzten Kegels. Querschnitte zeigen sie demnach hufeisenförmig gekrümmt, Längsschnitte ganz gerade. Am oberen Rand bedeckt der Otolith nicht die ganze Macula lagenae, sondern lässt sie in der Mitte frei, während er mit zwei seitlichen Zipfeln so weit hinaufreicht wie das Nervenepithel (Fig. 16). Desshalb hat auch der schon bekannte Vergleich mit dem Oberleder eines Pantoffels viel Zutreffendes. Im histologischen Bau entspricht die Lagena völlig den anderen Otolithenapparaten; nur am obern Rande, wo, wie oben bemerkt, die Macula breiter ist als die Otokonienplatte, convergiren die Zellhaare stark von den Seiten gegen die Otolithenzipfel zu.

Wie oben gesagt, ist der Otolith in der Richtung seiner Axe völlig gerade, senkrecht darauf scharf hufeisenförmig gekrümmt. Wie steht nun diese Axe? Sie ist massgebend für die Stellung des Apparates am Schädel. Nach der Richtung des Knochengehäuses kann man sie nicht wohl bestimmen, weil die Axe des Macula-Kegels wesentlich von der der Knochenschale abweicht. — Die konische Verjüngung des Otolithen-Kegels ist nicht sehr bedeutend und darum erscheint im durchsichtig gemachten Schädel eines kleinen Vogels der Otolith als eine hufeisenförmige Linie, wenn man in der Richtung seiner Axe auf sein Ende schaut (Fig. 12). Wenn man ein solches Präparat zuerst so hält, dass die Macula utriculi zur Linie reducirt erscheint, und es dann um die „Horizontalaxe" des Schädels dreht, so wird nach einer Drehung von 110 bis 115° der Otolith der Lagena derselben Seite eine hufeisenförmige Linie. Die Axe der Lagena steht also nach innen unten, und zwar weicht sie von der Verticalen nach innen um 20—25° ab. — Sie liegt ziemlich genau in der Ebene des frontalen Ganges (vielleicht etwas mehr transversal), welche die Medianebene in einem nach hinten offenen Winkel von etwa 45° schneidet. Die Richtung ist also eine von aussen, oben, hinten nach innen, unten, vorne verlaufende. — Wie aus der Beschreibung hervorgeht, bildet der Otolith die innerste Schichte des Hohlkörpers und zwar in dem

hinteren Antheil der Circumferenz; er ruht also nicht auf der Macula, sondern hängt zum Theile an ihr.

Es ist auffallend, wie constant die Form der Lagena ist. Wenn man sich diejenige eines Frosches durch die wachsende Schnecke in der Spiraltour um die untere Schädelwand nach vorne und unten herum geschoben denkt, so erhält man ziemlich genau die Lagena des Vogels.

Suchen wir nun auch hier die Richtung zu bestimmen, welche wir die Gleitrichtung nannten, in welcher geradlinige Verschiebungen der Otolithenplatte möglich sind, so können wir diese für Utriculus und Lagena genau bestimmen. Der Boden des Utriculus ist in „sagittaler" Richtung muldenförmig, in „frontaler" völlig eben. In dieser letzteren Richtung könnte also der Otolith etwas gleiten, wenn ihn die in die Deckmembran eingehenden Zellhaare nicht daran hinderten; die Gleitrichtung am Utriculus ist also horizontal von aussen hinten nach innen vorne und umgekehrt.

An der Lagena ist ebenso ein Gleiten nur in der Axenrichtung denkbar, das ist schräg nach abwärts, von oben aussen hinten nach unten innen vorne und umgekehrt. Am Sacculus giebt die schwache Concavität (wenn sie überhaupt im Leben besteht) keinen Anhaltspunkt, die Gleitrichtung festzulegen. Sie ist ebensowohl in horizontal-„sagittaler", wie in einer von oben, innen, vorne, nach unten, aussen, hinten verlaufenden Linie möglich.

Bei den Säugern besteht bekanntlich keine Lagena, der ganze Schneckenraum ist für die Pars basilaris verwendet, es giebt nur zwei Otolithenapparate, Macula utriculi und Macula sacculi. Es ist von Wichtigkeit, sich an die Stellung des Vestibularapparates zu den Normalebenen des Kopfes zu erinnern, um sich die Lage der einzelnen Membranen leicht vorstellen zu können.

Prof. Mach und Dr. Kessel[1]) haben die Lage der 3 Bogengangebenen im menschlichen Schädel genau bestimmt und die Zeichnung ist in Mach's Schrift über die Bewegungsempfindungen S. 106 reproducirt. Es ist daraus ersichtlich, dass die Ebenen der horizontalen Kanäle um einen Winkel von 48° nach hinten unten geneigt sind, d. h. die von Mach als horizontal angenommene Durchschnittsebene des Kopfes in einem solchen nach hinten offe-

1) Mach und Kessel, Beiträge zur Topographie und Mechanik des Mittelohrs. Sitzber. d. Wiener Akademie Bd. 69.

nen Winkel schneiden. Dieses stimmt genau mit einer Beobachtung, zu welcher mich das Bestreben geführt hat, die Labyrinthe verschiedener Thiere in der Ebene der Horizontalgänge zu schneiden. Die Orientirung ist nicht leicht, wenn die Kanäle nicht wie bei Vögeln am schnittfertigen Präparat deutlich zu sehen sind und es war mir eine grosse Erleichterung als ich fand, dass die gesuchte Ebene immer die Neigung des Clivus hat; dass es also nur nöthig ist, den sagittalen Durchschnitt des Clivus in der Mikrotomklammer horizontal zu stellen und die Sagittalebene des Schädels vertical zu erhalten, um das Labyrinth in der gewünschten Ebene zerlegen zu können. Dieses Verhalten wird verständlich durch die Ueberlegung, dass die Neigung des Clivus zugleich auch die der Medulla oblongata ist, und dass die Schläfenbeine sammt dem Labyrinth die Abbeugung der Oblongata gegen die Längsaxe des Vorderhirnes mitmachen.

Nimmt man nun als die Horizontalebene des in normaler aufrechter Haltung getragenen Kopfes eine Ebene an, welche den unteren Orbitalrand und die Mitte der äusseren Gehörgänge schneidet, so ist der Clivus gegen diese Ebene geneigt in einem Winkel von etwa 45°, was mit der Angabe Mach's stimmt.

Um klare Bilder zu erhalten, ist es zweckmässig, auch bei Durchschnitten quer durch die Schädelbasis diese nicht in der verticalen Transversalebene des Kopfes zu führen, sondern transversal und senkrecht auf den Clivus. Es erscheinen sonst die geringen Abweichungen von den Normalebenen, welche die Vestibularapparate besitzen, durch die relativ schräge Schnittführung gewaltig übertrieben.

Ausserdem sind bekanntlich die Labyrinthe so auf die Sagittal- und Frontalebene des Schädels orientirt, dass die mediale Wand des Vestibulum und die Ebene des Sagittalganges mit ihrem vorderen Ende um etwa 48° nach aussen gedreht ist, also mit der Sagittalebene des Schädels einen nach vorne offenen Winkel von diesem Betrage einschliesst. Ich glaube, dass auch für andere Zwecke, als die wir hier im Auge haben, es vortheilhaft sein dürfte, Schnitte durch das Labyrinth nicht in den Normalebenen des Kopfes, sondern senkrecht oder parallel zu dieser Diagonalebene zu legen. So liegt annähernd in ihr die Axe der Schneckenspindel, und man erhält bei Serienschnitten in dieser „sagittalen" Ebene die schönsten radiären Längschnitte durch die ganze Schnecke.

Betrachten wir nun auf Fig. 19 den Transversalschnitt durch die Schädelbasis einer neugeborenen Katze und auf Fig. 20 einen „Frontal"schnitt durch das Labyrinth von Meerschweinchen, so fällt vor Allem auf, dass die Macula des Utriculus und jene des Säckchens vollkommen senkrecht auf einander stehen.

Dieses höchst wichtige Verhalten hat, so viel mir bekannt, nur Rüdinger bemerkt, der sich in seiner Abhandlung: „Zur Anatomie und Entwickelung des inneren Ohres, 1888" dahin ausspricht, „.... dass die beiden Maculae der beiden Säckchen rechtwinkelig zu einander gestellt sind".

Wenn man an den Präparaten den Querschnitt der Schädelbasis horizontal stellt, so steht jener der Macula utriculi auch horizontal, jener der Macula sacculi vertical. Ueber geringe Abweichungen von diesen Ebenen können Präparate keine sichere Auskunft geben, welche entkalkt der Schrumpfung im Alkohol und im Celloidin ausgesetzt waren. Gross können diese Abweichungen aber nicht sein.

Zu grösserer Reserve zwingt die bedeutende und ungleichmässige Schrumpfung des Knorpels, wenn wir versuchen zu bestimmen, ob und in welcher Richtung die Maculae eben und in welcher sie gekrümmt sind, um damit, wie bei den anderen Thieren, jene Richtungen zu fixiren, in welchen der Otolith gleiten könnte. Die Schnitte zeigen die Macula utriculi immer eben in „frontaler" Richtung, während auf „sagittalen" Schnitten grosse Niveauverschiedenheiten zu sehen sind. Ich kann aber nicht sicher behaupten, dass dies letztere Verhalten nicht von den Reagentien abhängig sei. Für den Sacculus, dessen Macula der Wand des Recessus hemisphaericus anliegt, zeigt sich dieselbe auf „horizontalen" Schnitten immer concav (Fig. 21), und zwar bei ziemlich gleichmässiger Dicke des Knorpels in ihrer ganzen Ausdehnung. Auf verticalen Schnitten (d. h. solchen, die senkrecht auf die „horizontale" Clivusebene geführt sind) sieht man die Dicke des Knorpels vom Rande des Recessus gegen seine Mitte hin sehr bedeutend zunehmen, so dass die Concavität der Knochenoberfläche grösstentheils ausgeglichen wird. Die doch noch vorhandene geringe Concavität der Macula dürfte dem Umstande zuzuschreiben sein, dass im Alkohol der Knorpel proportional seiner Dicke schrumpft; dadurch müsste eine im Leben ebene Oberfläche des-

selben nach der Alkoholbehandlung concav werden, da die mediale Fläche des Knorpels am Knochen fixirt ist. Hierfür sprechen besonders Objecte, bei denen die Membrana tectoria sich vom Epithel gelöst hat; bei diesen ist zwar die Epithelfläche der Macula einigermaassen concav, der Durchschnitt der Deckmembran aber ganz gerade. Ich glaube daher, wenn auch mit einiger Reserve, annehmen zu dürfen, dass die Macula sacculi ein Stück einer cylindrischen Fläche bildet, deren Axe am aufrecht getragenen menschlichen Schädel von oben hinten nach unten vorn verläuft, während sie in der darauf senkrechten Richtung concav ist. Die „Gleitrichtung" des Sacculus der Säuger wäre dann die erstgenannte, die der Macula utriculi horizontal von hinten aussen nach vorne innen („frontal"). Die 3 Richtungen, welche wir bei den anderen Wirbelthieren an den Maculis jedes Labyrinthes fanden, setzen sich dann bei den Säugern (des Fehlens der Lagena halber) aus den Maculis beider Labyrinthe zusammen, und zwar giebt es, wenn wir zunächst von der Rückneigung derselben absehen, zwei auf einander senkrechte horizontale von lateral hinten nach medial vorne und (zwei parallele, also) eine verticale Gleitrichtung. Diese Bezeichnungen sind dann für den normal getragenen Schädel dadurch zu corrigiren, dass die Neigung der hinteren Schädelgrube nach hinten unten in Betracht gezogen wird.

IV. Wie verhalten sich die anatomischen Thatsachen zu unserer Hypothese?

Wir haben bisher die Thatsachen betrachtet, welche beweisen, dass ein im Innern des Schädels gelegenes Organ Empfindungen der Lage desselben liefert, und anatomische Thatsachen gesammelt über Topographie und Bau der Otolithenapparate bei den Wirbelthieren. Wir haben nun zu untersuchen, ob diese letzteren geeignet erscheinen, bei Lageveränderungen des Schädels entsprechend veränderte Empfindungen zu liefern. In wie weit dies auch für Empfindungen progressiver Bewegung gilt, soll später besonders erörtert werden; zunächst fällt für diese Betrachtung die Lage des Kopfes und die progressive Bewegung desselben zusammen, da es sich in beiden Fällen um geradlinige Beschleunigungen handelt.

Zunächst erscheint klar, dass in einem Apparate, welcher der

Wahrnehmung geradliniger Beschleunigungen dienen soll, ein fester Körper, umgeben von einer specifisch leichteren Flüssigkeit, völlig geeignet ist, als Angriffspunkt der zu percipirenden Beschleunigungen zu dienen. Bei jeder Veränderung von Richtung und Intensität der Beschleunigung wird ein solcher specifisch schwererer Körper sich in der Flüssigkeit zu verschieben suchen, und wenn fixirt, mit abgeänderter Intensität und Richtung auf seine fixirende Umgebung drücken. Diese Anforderungen befriedigen die Otolithen und Otokonienhaufen. Richtung und Stärke des von ihnen ausgeübten Druckes sollen nun weiters percipirt werden und hierzu erscheinen die beschriebenen nervösen Endapparate trefflich geeignet. Wir sahen, wie aus dem Nervenepithel die Haare austreten, umbeugend in die gelatinöse Masse eingehen und mit ihr eine Platte bilden, auf welcher Otolith und Otokonien aufruhen. Denken wir zunächst eine solche beschwerte Platte als horizontal, so wird der Schwerdruck der Otolithen senkrecht auf ihre Fläche wirken; wird sie geneigt, so muss entsprechend dem Winkel der Neigung die Schwere der Otolithen auf die Schleim- und Haarplatte einen seitlichen Zug ausüben, welcher bei verticaler Stellung derselben sein Maximum erreicht. Wird der Zug oder Druck, welcher auf die Zellhaare wirkt, empfunden, so haben wir einen Apparat vor uns, völlig geeignet, seine Lage gegen die Verticale zur Wahrnehmung zu bringen und damit auch die Stellung des Kopfes, in welcher er unbeweglich fixirt ist.

Es wurde oben dargelegt, dass die Zellhaare unter einer Otolithenplatte nicht gleich gerichtet sind, sondern dass sie auf jedem Schnitte gegen die Mitte hin convergiren, so dass man darauf die Haare der linken Hälfte nach rechts, die der rechten nach links hin streichen sieht. Der Zug oder Druck der als ein einheitlich Ganzes gravitirenden Platte muss also die beiden Hälften der Zellhaare im entgegengesetzen Sinne beeinflussen, die einen in der Richtung ihres Verlaufes, die anderen gegen ihre Richtung zu verzerren oder zu drücken suchen. Wird ein solcher Zug percipirt, so erlaubt die Beschaffenseit des Apparates, das Gesetz der specifischen Energie vollständig auf denselben zu übertragen. Ob nun der auf ein Zellhaar wirkende Zug im Sinne seiner Verlaufsrichtung oder im Gegensinne die Nervenendzelle reize, ob er zerre oder drücke, — in jedem Falle wird der Schub der Otolithen von der einen oder anderen Hälfte der Zellen percipirt werden, ohne

dass man diesen die Fähigkeit zuschreiben müsste, zwei entgegengesetzte Reize zur Perception zu bringen.

Die mechanische Einwirkung der Schwere der Otolithenplatte auf die Zellhaare ist nicht wohl denkbar, wenn dieselbe nicht die Möglichkeit einer wenn auch nur geringen Verschiebung hat, und ist nur in jener Richtung möglich, in welcher eine solche Verschiebung stattfinden kann. Es wurde oben bei Betrachtung der anatomischen Verhältnisse schon bemerkt, dass manche der beschriebenen Apparate, völlig eben, nicht erlauben, eine Richtung als jene zu bezeichnen, in welcher allein eine mit der Macula parallele Verschiebung der Otolithenplatte, ein Gleiten derselben möglich ist; dass aber andere in einer Richtung eben, in der darauf senkrechten concav gebildet sind, und dass daher ein Gleiten der Otolithenplatte nur in der ersteren Richtung stattfinden kann; also auch nur in dieser eine mechanische Einwirkung auf die Zellhaare; dass also Neigungen der Platte nur in so weit auf die betreffende Nervenendstelle wirken können, als die Otolithenplatte dabei längs der Rinnenaxe zu gleiten strebt[1]). Bei einer Lageveränderung, welche die Neigung dieser Axe gegen die Verticale nicht abändert, würde der Apparat keine Empfindung liefern. Solche bestimmte „Gleitrichtungen", wie wir sie nannten, haben wir beim Hecht für Sacculus und Lagena, beim Frosch für die Lagena, bei den Vögeln für Utriculus und Lagena, bei den Säugethieren für den Sacculus mit Sicherheit festlegen können. Die Vermuthung drängt sich auf, dass auch bei jenen Otolithenapparaten, deren Form eine solche Bestimmung der „Gleitrichtung" nicht ermöglicht, doch Verschiebung oder Gravitation des Otolithen nur in einer Richtung percipirt werde; besonders da es bei den verschiedenen Thieren bald die eine, bald die andere Macula ist, welche eine solche Feststellung erlaubt.

Die Topographie unseres Organs ergiebt die höchst bemerkenswerthe Thatsache, dass die Otolithenapparate ganz ebenso im Raum disponirt sind, wie die Bogengänge, und zwar liegt bei allen untersuchten Thieren die Macula utriculi in der Ebene des horizontalen Kanales, die Macula sacculi in jener des sagittalen,

1) Für die Fische verhält sich die Sache anders und eine Gleitrichtung ist nicht durch rinnenförmige Bildung der Macula, sondern durch die Einfalzung der Macula sacculi in die Furche des Otolithen determinirt.

die Axe der Lagena, wo eine solche zu bestimmen ist, in der Ebene des frontalen Bogenganges. Für den Utriculus kann die Gleitrichtung nur eine „horizontale“ sein; für die Vögel lässt sich mit Sicherheit, für Säugethiere mit Wahrscheinlichkeit aussagen, sie verlaufe in „frontaler“ Richtung, d. h. von medial vorne nach lateral hinten, horizontal. Die Gleitrichtung des Sacculus verläuft bei den Fischen horizontal von vorne nach hinten, ist beim Frosch nicht bestimmbar, bei den Vögeln höchst wahrscheinlich horizontal in „sagittaler“ Richtung, d. h. von vorne lateral nach hinten medial. Bei den Säugethieren höchst wahrscheinlich vertical von oben nach unten (bei Berücksichtigung der Neigung des ganzen Apparates bei normaler Kopfhaltung: von hinten oben nach vorne unten). Die Lagena zeigt beim Hecht sicher (mit Wahrscheinlichkeit auch bei den anderen Fischen) eine Gleitrichtung von oben nach abwärts, beim Frosch und den Vögeln schräg von oben nach abwärts. Bei den Säugethieren fehlt sie, und hier ist eben die Gleitrichtung des Sacculus an ihre Stelle getreten, indem nun diese von oben nach abwärts verläuft.

Diese Disposition der Otolithenapparate ist um nichts weniger bemerkenswerth als die Stellung der Bogengänge in 3 aufeinander senkrechten Ebenen, und wenn diese von jeher die Vermuthung erregt hat, dass die halbkreisförmigen Canäle irgend etwas mit der Perception des Raumes zu thun haben (man dachte an die Wahrnehmung der Schallrichtung), so drängt die gegenseitige Stellung der Otolithenflecken dieselbe Vermuthung auf.

Ergänzen wir nun die anatomischen Daten durch die Hypothese: Zug oder Druck auf die Zellhaare ausgeübt, reize die Nervenendzelle; der Reiz werde zum Gehirn geleitet und erzeuge dort die Empfindung der Stellung des Kopfes in Bezug auf die Verticale, so wie wir von den Ampullen annehmen, dass der auf ihre Zellhaare ausgeübte Flüssigkeitsdruck die Empfindung einer Kopfdrehung, einer Winkelbeschleunigung hervorrufe. Mit dieser Annahme werden die Otolithenapparate zu einem Perceptionsorgane für die Lage des Kopfes im Raum (und progressive Bewegung desselben), dessen Bau dieser präsumptiven Function auf's Genaueste entspricht.

Bisher haben wir die Structur der Otolithenapparate daraufhin angesehen, ob sie der Annahme entspräche, ihre Function sei die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse; nun haben wir zu betrach-

ten, in wie weit diese Structur mit der recipirten Hypothese stimmt, welche behauptet, die durch Erschütterung der Zellhaare entstehende Reizung der Nervenendzelle werde zum Gehirn geleitet und rufe dort eine Gehörsempfindung hervor. Dies ist ebenso eine Hypothese, wie die andere Annahme, aber allerdings spricht für sie, wie ein Jurist es ausdrücken würde, die Präsumption, welche aus langem, unangefochtenem Besitze entspringt. Bis zur Entdeckung Flourens' und eigentlich bis zur Abhandlung von Goltz (1870) galt es für selbstverständlich, dass alle Zweige des N. acusticus auch acustische Functionen hätten. Seitdem hat aber die Discussion über die Function der Bogengänge diese selbstverständliche Meinung wesentlich erschüttert. Jeder Bestandtheil des Labyrinths darf und muss nun daraufhin geprüft werden, ob ihm nach den bekannten anatomischen und physiologischen Thatsachen eine acustische oder eine andere Function zugeschrieben werden soll.

Eine solche Prüfung scheint mir nun nicht sehr zu Gunsten acustischer Leistungen der Otolithenapparate zu sprechen.

Ein Punkt steht wohl fest: die acustische Function der Schnecke. Gerade dieses Organ aber führt nie Otokonien, auch nicht die wenig entwickelte „cochlea" des Frosches, der doch sonst so massenhafte Anhäufungen von Kalkkrystallen zeigt. Wenn jenes Organ, welches sicher dem Hören vorsteht, keine Otolithen führt, trotzdem es sowohl in Bezug auf Erregbarkeit durch Mitschwingen als auf rasche Dämpfung der Schwingungen so Wunderbares leistet, — dann ist es wenig wahrscheinlich, dass die Otolithen in den Säckchen eine acustische Function hätten, als Verstärker oder Dämpfer der Schallschwingungen, wie sie ihnen abwechselnd zugeschrieben wurde. Es erscheint sehr wahrscheinlich, dass die Otolithen eine andere und zwar, bei der absoluten Constanz ihres Vorkommens in den Säckchen aller Wirbelthiere, eine für deren Leben wesentliche Bedeutung haben.

Schon die unbefangene Betrachtung der relativ gewaltigen, massiven Otolithen der Knochenfische, wie des massigen Haufwerkes von Kalkkrystallen, welche die Macula des Frosches belasten, macht es ebenso unwahrscheinlich, dass solche Gebilde dem Hören dienen, wie die Hensen'sche Beobachtung an den Krebsen, welche beliebige Sandkörner als Otolithen verwenden, es für diese Thiere zweifelhaft gemacht hat.

Es ist wohl möglich, dass elastische, feine Stäbchen, auch wenn sie nicht gestreckt verlaufen, sondern, im rechten Winkel umgebogen, in einer schleimigen Masse stecken, von Schallwellen zum Schwingen gebracht werden; besonders geeignet hierfür erscheint aber doch die Anordnung der Zellhaare nicht, welche durch die gelatinöse Substanz zu einer, der Epithelfläche parallelen, belasteten Platte zusammengehalten werden.

Keiner Deutung im Sinne acustischer Function zugänglich scheint mir die gegenseitige Stellung der Otolithenapparate. Für die Disposition der Bogengänge hat neuerdings Preyer die alte Annahme wieder vorgeschlagen, dass durch sie die Schallrichtung sollte percipirt werden. Hier ist nicht der Ort für eine Kritik dieser Theorie, die im Anhang besprochen werden wird. Aber welchen acustischen Zweck könnte es haben, wenn z. B. die Maculae von Utriculus und Sacculus der Säugethiere senkrecht aufeinander stehen? Rüdinger, der dieses Verhältniss bemerkt hat, sagt (a. a. O. p. 9): „In dem runden Säckchen können die Schallwellen direct zu den Hörhaaren gelangen, während dieselben in dem Utriculus mehr von den Bogengängen her auf die Hörhaare einwirken müssen." Aber auch wenn dem so ist, kann ich keine Deutung finden, welche diesem Verhalten einen physiologischen Sinn geben könnte[1]).

Wir können also sagen, dass weder die histologische Structur noch die topographische Disposition der Otolithenapparate eine zweckmässige Beziehung zu acustischen Functionen erkennen lassen, während dieselben einen vortrefflichen Apparat zur Perception

---

1) Sagemehl (Morphol. Jahrbuch IX) hat darauf aufmerksam gemacht, dass Sacculus und oft auch Utriculus der Fische der Wand der Kiemenhöhle anliegen, also nur durch eine dünne Knochenplatte von dem dieselbe durchströmenden Wasser getrennt sind. Diese Lage scheine sehr geeignet für die Uebertragung von Schallschwingungen aus dem Wasser auf die genannten Organe. Ich glaube, sie sei hierzu sehr ungeeignet. Während die obere Hälfte des Schädels direkt vom umgebenden Wasser bespült wird, also allerdings für Aufnahme von Schallschwingungen hier kein Hinderniss besteht, bedeckt die mediale Wand der Kiemenhöhle der Filz der flottirenden feinen Kiemenfransen, also eine für Schallleitung sehr ungeeignete Masse. Es ist gerade so, als wäre dem Ohr der Luftthiere eine dichte und dicke Haarmasse vorgelagert, was wohl niemand für das Hören besonders günstig erachten könnte.

geradliniger Beschleunigungen bilden, wenn die von ihnen ausgehenden Nervenreize im Centralorgan als solche empfunden werden.

Für die acustische Function spricht eigentlich ausser der oben erwähnten Präsumption nur das scheinbare Bedürfniss, ausser der Schnecke noch einen Hörapparat anzunehmen. Die Fische haben keine Schnecke; womit hören sie? Aber — hören sie? Sie percipiren sicher Schwingungen, aber ob sie in unserem Sinn hören, oder ob sie die Schwingungen tasten wie ein Taubstummer es thut, — das scheint mir zweifelhaft. Nun gibt es aber ausser Ampullen und Säckchen noch eine (doppelte) Nervenendstelle, die Macula (neglecta) Retzii, über deren Function nicht die mindeste Vermuthung besteht. Sie ist bei den Vögeln verkümmert und bei Säugern verschwunden; bei Fischen wohl entwickelt. Sollte sichergestellt sein, dass die Fische hören, so wäre immer noch ein Nervenapparat disponibel, dem diese, jedenfalls sehr unentwickelte Function zugemuthet werden könnte.

Betrachten wir aber die Ausrüstung der Fische unter der Annahme, dass die Säckchen Beschleunigungen percipiren. Die Fische haben dann in den Bogengängen den Apparat zur Wahrnehmung von Drehungen, in den Säckchen denjenigen für die Stellung ihres Kopfes (und Körpers) zur Verticalen und für translatorische Beschleunigungen, in den Nervenapparaten der Seitenorgane höchst wahrscheinlich Organe für die relative Geschwindigkeit des umgebenden Wassers und ihres Körpers; diejenigen Fische, welche eine Schwimmblase besitzen, haben vielleicht in ihr noch ein Perceptionsorgan für den Wasserdruck, also die Wassertiefe, in welcher sie sich befinden. Sie sind also im Besitze eines sensorischen Steuerungsapparates, welcher der Trefflichkeit ihres motorischen nicht nachsteht.

Noch einem andern Gedankengange entspringt das Bedürfniss nach einem acustischen Perceptionsorgane ausser der Schnecke. Jene Physiologen, welche dieser die Wahrnehmung der Töne zuschreiben, die der Geräusche jedoch absprechen, sind natürlich darauf hingewiesen, wenn nicht die Bogengänge, doch die Säckchen hierfür in Anspruch zu nehmen. Da diese Frage aber noch ganz unentschieden ist, wie denn Exner, Helmholtz und Brücke auch die Wahrnehmung der Geräusche der Schnecke zuschreiben (ich auch für die Diskussion dieser Angelegenheit weder die Competenz fühle, noch hier den Raum dazu habe), so glaube ich dieses

Argument für die acustische Funktion der Otolithenapparate nicht weiter erörtern zu sollen.

Ich habe bisher festzustellen gesucht, dass es specifische Empfindungen für geradlinige Beschleunigungen gebe, dass sie im Innern des Schädels entstehen, und dass der anatomische Bau der Otolithenapparate diese völlig geeignet erscheinen lässt, diese Empfindungen zu liefern. Ich habe im Folgenden zu untersuchen, ob und welche experimentellen und pathologischen Thatsachen dafür zeugen, dass diese Function den Säckchen auch wirklich zugeschrieben werden müsse.

V. Experimentelles und Pathologisches.

Eine der wesentlichsten Schwierigkeiten dieser Untersuchungen liegt darin, dass es nicht leicht gelingt, Ausfalls- und Reizerscheinungen, welche von Beeinträchtigung der Säckchen abhängen mögen, von jenen zu trennen, die von den Bogengängen herstammen. Die grosse Nähe der beiden Organe bedingt das häufige Zusammenfallen ihrer Läsionen und auch die Reactionen und von ihnen ausgelösten Reflexe müssen der Natur der Sache nach sehr ähnlich sein. Nehmen wir zunächst unsere Hypothese über die Otolithenmembranen als richtig an, so ist klar, dass die Bewegungen eines Thieres ziemlich analog sein müssen, ob es durch die Empfindung in frontaler Ebene nach links gedreht zu werden, oder durch die andere Empfindung, nach links geneigt zu sein, angeregt wird, sein Gleichgewicht wieder herzustellen. Wir werden daher auf die Otolithenapparate nur solche Phänomene beziehen dürfen, die sicher nicht von den Bogengängen abhängen; dadurch wird die Summe der beizubringenden Thatsachen sehr verringert.

Suche ich nun nach Ausfallserscheinungen im Gefolge einer Zerstörung der Säckchen oder Abtrennung derselben vom Centralorgan, so finde ich die folgenden Thatsachen.

In seiner grundlegenden Abhandlung über die Bogengänge hat Goltz beschrieben, wie Frösche, denen das Labyrinth beiderseits zerstört oder die N. acustici durchschnitten worden, unfähig sind, ihr Gleichgewicht zu behaupten, wenn man sie durch Neigung des Brettes, auf dem sie sitzen, zwingen will, die Balancirbewegungen zu machen, welche von normalen Fröschen mit grosser Sicherheit ausgeführt werden.

Ich habe Fröschen nach der von Schrader benutzten Methode das Labyrinth von der Mundhöhle aus zerstört. Ein kleiner Schnitt in die Mundhöhlenschleimhaut legt die Basalfläche des Labyrinths bloss. Die hier verlaufende Carotis wird bei Seite geschoben, der die untere Wand der Labyrinthkapsel bildende Knorpel, mit einem Zahnexcavator oder dgl. durchbrochen und mit diesem Instrumente möglichst ausgiebig das häutige Labyrinth zerstört; besonders ist dabei das Instrument an der medialen Wand des Labyrinthraumes hinzuführen, um die zwei eintretenden Aeste des Acusticus zu zerstören.

Die Thiere ertragen den Eingriff gut und die kleinen Wunden heilen, wie auch Schrader[1]) angiebt, vollständig. Bei einseitiger Operation sah ich, nachdem wochenlang Manègebewegungen bestanden hatten, diese schwinden, so dass der Frosch sich von einem normalen nicht unterschied.

Ist die Zerstörung des Labyrinths nicht beiderseits vollständig gelungen, so sieht man die von Goltz schon angegebene Schiefhaltung des Kopfes nach einer Seite manchmal sehr hochgradig werden. Es ist ganz dasselbe Phänomen wie die bekannte sekundäre, dauernde Kopfverdrehung der am Labyrinth eingreifend operirten Vögel, welche nur der geringeren Beweglichkeit des Froschkopfes halber nicht soweit gehen kann, wie etwa bei den Tauben. Solche Frösche zeigen dauernd Kreisbewegungen in horizontaler und verticaler Ebene beim Schwimmen und drehen sich auch im Sprunge.

Gut operirte Frösche aber zeigen sehr merkwürdiges Verhalten. Nach einigen Tagen sind die Manègebewegungen gering, sie schwimmen oft ganz gerade, aber wenn sie sich im Wasser drehen oder mit dem Bauche nach oben ins Wasser gesetzt werden, schwimmen sie grosse Strecken auf dem Rücken, was, soviel ich weiss, ein normaler Frosch nie thut. Wirft man sie in ein grösseres Bassin mit Wasser und lassen sie sich zu Boden sinken, so bleiben sie dort in der Lage wie sie hingelangen; sie bleiben auf dem Rücken liegen, wenn sie in dieser Position den Boden berühren. Auch im Glase mit Wasser aufbewahrt, findet man sie so oft auf dem Rücken liegen wie auf dem Bauch, bei sonst nor-

---

1) Schrader, Z. Phys. d. Froschgehirnes, Pflüger's Arch. 41. Bd., p. 87.

maler Haltung der Extremitäten. Setzt man sie, wie Goltz gethan, auf ein Brett, dessen eine Kante man langsam hebt, so machen sie nicht früher den Versuch, auf dem Brette hinaufzukriechen, als bis sie merklich gleiten, also ein Reiz an der Haut der Extremitäten gesetzt wird; auch fehlt die Senkung und Hebung des Kopfes, welche sonst als die erste Reaction auf die Neigung der Unterlage eintritt. Von diesen Thieren, die sich manchmal viele Wochen in diesem Zustande erhalten, lässt sich also aussagen, dass sie durch die Zerstörung des Labyrinths die Empfindung für die Lage ihres Körpers verloren haben, wenn durch die Immersion im Wasser die Schwereempfindungen der Glieder aufgehoben werden.

Bei Vögeln Utriculus und Sacculus zu zerstören, ohne die Ampullen zu schädigen, ist wohl unmöglich. Die Lagena aber kann man mit der Schnecke, deren Endtheil sie bildet, exstirpiren. Ich habe das bei mehreren Tauben beiderseits gethan, ohne ein deutliches Resultat zu erzielen. Man erhält zwar deutliche Störungen, wenn man die Schnecke einfach, ohne Cautelen, ausgezogen hat: die Taube neigte, durch ein übergezogenes Häubchen geblendet, den Kopf weiter und weiter nach rückwärts, bis sie nach hinten überstürzte. Die Section ergab aber, dass sowohl die hintere Hälfte des Sacculus als die frontale Ampulle durch die Extraction der Schnecke lädirt worden waren, und besonders auf die Schädigung der frontalen Ampullen musste jene Störung bezogen werden. Ich habe dann in den andern Fällen die Schnecke nahe ihrem Anfang, gleich unterhalb der Ampulla frontalis mit einem scharfen Messer quer durchschnitten und dann den abgetrennten untern Theil sammt der Lagena extrahirt. So operirte Tauben zeigten geheilt keine auffallenden Störungen, flogen ungerne und soweit man im Zimmer beurtheilen konnte, nicht gut, aber ohne dass eine wesentliche Anomalie zu bemerken gewesen wäre. Anders verhält es sich bei Tauben, denen das ganze häutige Labyrinth beiderseits extrahirt worden ist. Ich habe 1874 darauf hingewiesen, dass nach solchen Operationen zwischen den ersten Tagen, wo das Thier bei jeder Störung die gewaltsamsten Rotationen ausführt und der Zeit, wo sich die Kopfverdrehung entwickelt, ein oder zwei Tage liegen, wo es ruhig ist und gehen kann. Da „liess sich constatiren, dass die Taube, welche nunmehr sehr selten Schwindelanfälle bekam, doch, in die Hand genommen und um

ihre Längsaxe gedreht, nicht die geringste compensirende Kopfdrehung machte, wenn ein die Augen bedeckendes Häubchen die Gesichtseindrücke ausschloss". Eine normale Taube hält, während man den Körper langsam so dreht, den Kopf aufrecht in der Normalstellung und compensirt die Lageveränderung vollkommen und zwar ist das nicht der pendelnde Kopfnystagmus, welcher Rotationen compensirt, sondern eine veränderte Haltung des Kopfes. Man darf also von der operirten Taube sagen, dass sie den Reflex nicht zeige, womit normale Thiere die veränderte Lage des Kopfes gegen die Verticale beantworten[1]).

Ich sollte nun untersuchen, ob die Versuche über Durchschneidung des Acusticus bei Säugethieren Anhaltspunkte zur Entscheidung unserer Frage bieten. Doch besitze ich über solche Versuche keine eigene Erfahrung. Die vorhandenen Berichte werde ich im Anhange besprechen. Hier ist nur zu constatiren, dass keiner der Experimentatoren auf das Fortbestehen oder Wegfallen der dauernden Augenverstellungen bei Lageveränderung des Kopfes geachtet hat. Dies ist aber das einzige Symptom, über dessen eventuellen Ausfall eine bestimmte Beobachtung zu machen man hoffen durfte. Die Säugethiere mit beiderseits durchschnittenem Acusticus behalten so viele Störungen der Bewegung und eine so grosse Disposition zu Zwangsbewegungen, dass Versuche mit Immersion im Wasser z. B. kaum ein Resultat erwarten liessen.

Für unsere Frage ergeben also die bisher beschriebenen Versuche von Acusticusdurchschneidung an Säugern nichts. Diese Lücke wird aber, wie ich glaube, reichlich ausgefüllt durch die oben (p. 209) angeführten Beobachtungen an Taubstummen. Durch sie wird bei unterrichteten Menschen constatirt, dass das Bewusstsein von der Lage des Körpers gegen die Verticale, welches der normale Mensch besitzt, auch wenn die Immersion im Wasser die Gravitationsempfindung der Glieder nahezu aufhebt, bei Labyrinth-

1) Ich muss hier beifügen, dass manchmal, wenn auch selten, auch gesunde Tauben vorübergehend den Kopf nicht compensirend in der Normalstellung festhalten, sondern derselbe die Drehung des Körpers mitmacht. Es dürfte das von dem psychischen Zustand der Thiere abhängen, von ihrer Angst vor allem. Der Wegfall der betr. Reaction bei Fehlen des Vestibularapparates könnte also auch auf ein Benommensein des Thieres bezogen werden, motivirt etwa durch seinen constanten Schwindel, und verliert dadurch an Beweiskraft für unsere These.

mangel unter diesen Umständen entfällt. Ich halte diese Beobachtungen für weniger vieldeutig, als alles, was die Durchschneidungsversuche ergeben könnten, welche immer mit so vielen andern Störungen einhergehen, — und geradezu für entscheidend. Sie entsprechen vollständig dem, was ich oben über die Versuche mit beiderseitiger Zerstörung des Labyrinthes an Fröschen mitgetheilt habe. Diese beiden Gruppen von Ausfallserscheinungen und die oben citirte Beobachtung an Tauben mit beiderseits zerstörtem Labyrinth scheinen mir die einzigen reinen Thatsachen von Wegfall der von den Säckchen gelieferten Sinnesempfindungen. Sie sprechen dafür, dass diese für Wahrnehmung der Lage des Kopfes verwendet werden.

Den Versuchen, die Nervenendigungen der Säckchen galvanisch zu reizen, tritt störend und hindernd entgegen die unvermeidliche Complication mit Reizung der so nahe liegenden Ampullen. Nur die Lagena der Vögel, am peripheren Ende der Schnecke gelegen, scheint einige Chance für isolirte Reizbarkeit zu bieten. Sie ist auch nicht völlig unzugänglich. Wenn man sich bei einer Taube freien Einblick in den äusseren Gehörgang geschafft und das Trommelfell mit ausgiebigem Kreuzschnitt durchbrochen hat, so sieht man die mediale Wand der Trommelhöhle oder vielmehr man sieht die Fortsetzung derselben nach innen, in mehrere Etagen über einander liegender Hohlräume. Die zwei oberen Stockwerke sind Lufträume des Schädelknochens; das unterste ist ein Gang, der nach innen, dann nach vorne verläuft, mit dem entsprechenden Gang der andern Seite vereinigt in den Nasenraum mündet. Nahe der hintern Wand dieses Ganges, einige Millimeter medial von seinem Eingang in der Trommelhöhle, liegt die Lagena. An ein Freipräpariren derselben ist aber nicht zu denken, sowohl des dichten Knochengebälkes halber, welches sie umgibt, als eines grossen Blutsinus halber, welcher in der hintern Wand des Ganges liegt. Man kann aber wohl eine Nadel so einstecken, dass sie dem untern Ende der Lagena sehr nahe steht. Sticht man die Nadel nahe der hinteren Wand des Ganges, dort wo er sich nach vorne wendet, nach innen ein, so liegt sie nahe dem untern Ende beider Lagenae. Versucht man electrische Reizung mit einer so eingesteckten Nadel als Electrode, so sind die erfolgenden Reactionen natürlich sehr zweifelnd zu beurtheilen; es brechen ja die Stromschleifen jedenfalls durch das Gehirn, die Retina, die Schnecke, verschiedene Kopfnerven, und die Resultate müssten sehr eindeutig und frappant sein, um mit einiger Sicherheit eben auf die Lagena bezogen werden zu dürfen.

Ich habe nun zwar häufig auffallende Reactionen gesehen, und zwar die, dass die Taube beim Einbruch des Stromes mit dem ganzen Körper und Kopfe sich duckte, bei anderer Lage der Nadel Kopf und Körper hüpfend in die Höhe hob. Zu einer sicheren Beherrschung des Versuches bin ich aber

trotz vieler Mühe nicht gelangt. Ich kann daher keinerlei Schluss aus diesen Versuchen ziehen, und habe die Thunlichkeit derselben nur deshalb so ausführlich dargelegt, damit vielleicht ein anderer Beobachter glücklicher sei, der die Experimente auf diese Angaben hin aufnehmen wollte.

Ist so die direkte isolirte Reizung der Maculae unausführbar, so müssen wir untersuchen, ob die bekannten Erfolge der galvanischen Erregung des ganzen Vestibulums etwa Details bieten, die sonst unerklärt, auf die Maculae und nur auf sie zu beziehen wären.

Ich habe [1]) früher den direkten Beweis dafür geliefert, dass „die beim Galvanisiren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellungen vom Verhalten im Raume" (Hitzig) von der galvanischen Erregung des Vestibularapparates abhängen. Diese Störungen bestehen im Folgenden: „Wenn man percutan einen galvanischen Strom quer durch den Kopf einer Taube leitet oder eine Electrode am Bauche des Thieres anlegt, die andere an eine Seite des geschorenen Hinterhauptes, so erfolgt, wie schon lange bekannt, eine ganz bestimmte Reactionsbewegung. Das Thier neigt den Kopf nach der Anodenseite oder von der Kathode fort, und zwar ist das bei schwachen Strömen eine rein frontale Bewegung um eine durch den Kopf von vorne nach hinten gehende horizontale Achse. Steht nur eine Electrode am Kopfe, so ist die Bewegung viel stärker und erfolgt bei geringeren Stromintensitäten, wenn dies die Kathode, als wenn es die Anode ist. Dasselbe geschieht natürlich, wenn der Bogengangapparat freipräparirt ist und man mit einer als Electrode dienenden Nadel denselben irgendwo berührt. Die Reaction ist sehr empfindlich. Sie erfolgte mit grösster Deutlichkeit bei einem Strom, welcher bei metallischer Schliessung, ohne Einschaltung des Thierkörpers, 0,15 Milliampères ergab. Diese Kopfneigung ist dieselbe, wie wir sie durch Hitzig auch beim Menschen kennen gelernt haben. Vom Menschen her wissen wir auch, dass sie der Empfindung entspricht, nach der Kathodenseite hin oder von der Anode weg zu fallen und dass sie die Bewegung ist, mit welcher diese Scheinbewegung compensirt werden soll. Ich nenne diese Kopfneigung im Folgenden die diffuse Reaction."

Bei den Versuchen, von den einzelnen unverletzten Ampullen aus durch galvanische Erregung ihre spezifische Reaction hervor-

1) Neue Versuche an den Ohrbogengängen. Pflüger's Archiv. Bd. XLIV. p. 143.

zurufen, über welche in der citirten Arbeit berichtet wird, stellte sich heraus, dass diese „diffuse Reaction“ viel empfindlicher ist, als die der einzelnen Ampullen. Wenn z. B. die eine Nadel, als Kathode, die frontale Ampulle berührt, die andere am aufsteigenden Ast des frontalen Canales fixirt ist, „so ergeben schwächste Ströme nur die „diffuse Reaction“; bei zunehmender Stromstärke tritt aber bald an deren Stelle Bewegung des Kopfes in der Ebene des frontalen Canales.“ Wenn die „diffuse Reaction“ d. h. die rein seitliche Neigung des Kopfes vom Bogengangapparate abhinge, wäre doch zu erwarten, dass bei schwächsten Strömen zunächst die frontale Ampulle ihre Reaction gäbe, welcher die Electrode anliegt, und dass erst bei stärkeren Strömen die Stromfäden durch die sagittale Ampulle diese stark genug reizten, um — mit denen der frontalen combinirt — die rein seitliche Kopfneigung hervorzurufen. Das thatsächliche Verhalten lässt sich, wie mir scheint, nur durch die Annahme erklären, es würde durch die schwächsten Ströme ein anderer Apparat erregt, der empfindlicher ist als die Ampullen. Ich sprach daher auch dort schon die Vermuthung aus, die „diffuse Reaction“ hinge gar nicht von den Bogengängen ab, sondern von der Reizung der Maculae utriculi und sacculi.

Diese Vermuthung scheint mir nun wesentlich gestützt durch folgende Beobachtung am Menschen. Wenn man eine Electrode am Processus mastoideus anlegt, die andere an irgend einer Stelle des Rumpfes oder der Extremitäten, so ist bekanntlich die Richtung der Scheinbewegung, des galvanischen Schwindels, bedingt davon, ob die am Felsenbein sitzende Electrode Anode oder Kathode ist. Man glaubt nach der Kathode zu, von der Anode fort geneigt zu sein. Wie ist es aber, wenn man beide Electroden auf die innere und äussere Seite des Felsenbeines bringt? Ich habe, mit der gütigen Unterstützung meines Freundes Prof. Urbantschitsch, mir eine Electrode in die Tuba Eustachii linkerseits eingeführt, die andere aussen am linken Proc. mastoideus angelegt und den Strom am Rheostaten solange gesteigert, bis deutliche Scheinbewegung auftrat. Das Resultat war nun, dass ich immer nach der Seite der Kathode geneigt zu werden glaubte, nach links, wenn die Kathode am Proc. mastoideus, nach rechts, wenn sie in der Tuba sich befand[1]).

1) Es wäre wünschenswerth gewesen, die gewöhnliche Versuchsanord-

Es scheint mir nicht recht wahrscheinlich, wenn auch denkbar, dass diese völlige Umkehrung der Scheinbewegung von den Ampullen abhängen sollte, je nachdem sie in der einen oder andern Richtung vom Strom durchflossen würden. Zusammengehalten mit der oben dargelegten Beobachtung an Tauben, möchte ich sie eher dahin deuten, dass in der grossen flächenhaften Nervenausbreitung des Utriculus die beiden Hälften derselben, die mediale und die laterale, in der Empfindung überwiegen, je nachdem die eine oder die andere der Kathode oder der Anode näher steht.

Zwingende Beweiskraft zu Gunsten unserer These haben demnach die bisher bekannten Thatsachen der galvanischen Erregung nicht; diese gewinnt durch sie nur an Wahrscheinlichkeit, weil mit ihrer Hülfe eigenthümliche Befunde erklärt werden können.

Ueber mechanische Reizung der Otolithenmembranen an Fischen liegen zwei Untersuchungen vor: die von Sewall[1]) und die von J. Steiner[2]). In beiden wird übereinstimmend constatirt, dass Beschädigung und Extraction der Bogengänge bei Haifischen kaum nennenswerthe Bewegungsstörungen verursacht, dass aber solche wohl eintreten, wenn Läsionen des Vestibulums und der Otolithenapparate gesetzt werden. Die erstgenannte Thatsache zu erörtern, dass nämlich Verletzung und Entfernung der Bogengänge bei diesen Thieren im Gegensatze zu Amphibien, Vögeln und Säugern wirkungslos zu sein scheint, ist hier nicht der Ort. Auch würde ich mich dazu ausser Stande fühlen, ohne die Versuche wiederholt und variirt zu haben. Hier interessirt uns die Angabe, dass Läsionen des Vestibulums Kreisbewegungen, Rollbewegungen und Ueberschlagen in verticaler Ebene hervorrufen.

Steiner berichtet: „Nachdem man einseitig die drei Canäle

nung, wobei nur eine Electrode am Felsenbein, in der Fossa mastoidea, die andere an indifferentem Orte steht, so zu wiederholen, dass nur eine Electrode in der Tuba steckte, die andere etwa auf der Brust stand. Dies hat sich aber als unthunlich gezeigt; bevor noch die Stromfäden durch das Felsenbein stark genug werden, um deutliche Scheinbewegung hervorzurufen, haben die anderen Wirkungen, Muskelzuckungen und lokaler Schmerz sehr störende Intensität gewonnen.

1) Sewall, Experiments upon the Ears of Fishes with reference to the Function of Equilibrium. Journal of Physiology IV. p. 339.

2) Prof. J. Steiner, Die Functionen des Centralnervensystems und ihre Phylogenese. 2. Abth. Fische. Vieweg 1888.

entfernt hat, eröffnet man mit demselben Meissel, indem man zwischen den beiden verticalen Bogengängen eindringt, den Vorhof, einen Raum von beträchtlicher Ausdehnung, an dessen vorderer Wand, ein wenig nach aussen, deutlich sichtbare, weisse Kalkkörper liegen. Wenn man diese mit der Pincette fasst und herauszieht, oder wenn man sie nur herauszuziehen versucht, darauf die Wunde durch Nähte schliesst und den Fisch ins Wasser bringt, so beobachtet man ausnahmslos Störungen, welche in der Regel sind: Rollbewegungen nach der Seite der Operation ... Die Störungen treten auch dann ebenso auf, wenn man den Vorhof ohne voraufgegangene Eröffnung der Bogengänge zugänglich gemacht und die Kalkkörper angegriffen hat. Es treten Störungen ausnahmslos dann auf, wenn man den Vorhof eröffnet und an seinem Inhalte, insbesondere den Kalkkörpern zieht."

In der „Analyse der Versuche" sagt Steiner (p. 121) über diese Beobachtung folgendes:

„Wie sollen aber diese Rollbewegungen überhaupt nur Zwangsbewegungen sein können, da mit Sicherheit bei dem Angriff des Vorhofes eine Verletzung des benachbarten Gehirnes auszuschliessen ist? Ja noch mehr, obgleich beim Anfassen der Kalksäckchen naturgemäss Acusticusfasern gezerrt werden, ist nicht erwiesen, ob der centrale Ursprung des N. acusticus zugleich irgend eine Erschütterung erfährt. Ich frage nochmals, wie sollte es da zu Zwangsbewegungen kommen?"

„Ich habe bisher unterlassen, von einer Beobachtung zu sprechen, welche in keiner directen Beziehung zu unserer Frage zu stehen schien; um so wichtiger wird jene Beobachtung an dieser Stelle. Während der oben am Ohre ausgeführten Operationen beobachtete ich nicht selten, dass der Haifisch die Augenlider plötzlich schloss, so zu sagen plötzlich mit den Augen zwinkerte, wie wenn ihm die Operation einen plötzlichen Schmerz verursachte. Dieses Augenzwinkern fiel gewöhnlich zusammen mit denjenigen Operationen, welche von Bewegungsstörungen begleitet waren. Dieselbe Beobachtung hat Sewall gemacht (ohne dass dieselbe mir zur Zeit meines Versuches bekannt war), und er sagt ganz direct, dass nur dann Bewegungsstörungen auftraten, wenn seine Haifische die Augenlider plötzlich schlossen. Mir machten diese Bewegungen den ganz bestimmten Eindruck von Schmerzensäusserungen, wie sie auf Reizung einfach sensibler

Nerven aufzutreten pflegen, wodurch wir zu der Hypothese gedrängt werden, dass im N. acusticus neben den Sinnesnerven gemeine sensible Nervenfasern enthalten sind. Und über diese Fasern hätte die Discussion von Neuem zu beginnen."

„Mit allen diesen Schlussfolgerungen habe ich mich in der That getragen, so lange als ich nicht wusste, dass der N. facialis des Haifisches, wie Schwalbe erst vor einigen Jahren gefunden hat, nicht rein motorisch, sondern ein gemischter Nerv ist. Dieser giebt einen Zweig zum R. ophthalmicus superficialis ab, so dass letzterer sich aus zwei Theilen bildet, nämlich der Portio facialis und der Portio trigemini. Daraus erklärt sich in einfacher Weise das Augenzwinkern des Haifisches beim Angriff des Vorhofes, nämlich als Folge der Zerrung des mit dem N. acusticus enge verbundenen N. facialis, welche gemeinsam aus dem Nackenmark herauskommen und sich erst später von einander sondern. Wenn aber auf diese Weise der N. facialis an seiner Wurzel eine Zerrung erfährt, welche in dem entfernten Augengebiete sich markirt, um wie viel mehr muss der N. acusticus an seinem centralen Ende gezerrt werden, da man im Vorhofe doch seinen Stamm oder dessen Ausbreitungen anfasst?"

„Diese Zerrung am centralen Acusticusende aber kann ausreichen, um Bewegungsstörungen hervorzurufen, welche nothwendig dieselben sein müssen, wie wenn man das Nackenmark an dieser Stelle direct verletzt haben würde."

Steiner findet also bei Angriff der Vorhofsgebilde constant Bewegungsstörungen. Er glaubt diese nicht dem Vestibularapparate selbst zurechnen zu dürfen. Beim Anfassen der Otolithensäckchen zwinkert der Fisch „nicht selten" mit den Augen, was Steiner den Eindruck von Schmerzäusserung macht. Für diesen Schmerz findet er einen Grund in der Annahme, dass derselbe im sensiblen Facialis entstehe. Damit dies geschehe, muss am Facialis gezerrt worden sein, und wenn das erfolgt ist durch Läsion des Acusticus, muss gewiss auch am Acusticusursprung im Nackenmark genügend gezerrt worden sein, um durch Läsion dieses letzteren die Bewegungsstörungen erklärlich zu machen.

Ich habe hiezu Folgendes zu bemerken: Erstens befremden die Ausdrücke: „der Haifisch schloss plötzlich die Augenlider".

Haben die Haie bewegliche Augenlider? „Wenn auch die Augenlider der Selachier etwas höher entwickelt sind, als die der übrigen Fische, so erfreuen sie sich doch keiner selbstständigen Beweglichkeit.“ (Wiedersheim, vergl. Anatomie, pag. 433.) Auch eine Nickhaut besitzen die Scyllien nicht, um die es sich handelt. Es bleibt also die Wahl zwischen der Annahme, dass Steiner durch rasche Bulbusbewegungen getäuscht, diese für Lidschluss gehalten hat, oder dass die Angabe des Anatomen irrig ist. Ich wähle zunächst im Interesse der Discussion die letztere Annahme, dass die untersuchten Haie wirklich Lidbewegungen vollziehen können.

Es schiene mir nun nicht auffallend, wenn der ausser Wasser liegende Fisch seine eintrocknende Cornea „nicht selten“ mit den Lidern überfahren würde. Aber ich nehme an, diese Bewegungen derselben seien so mit dem Angriff des Vestibulums zusammengetroffen, dass sie unzweifelhaft als Reflexe dieser Läsion erschienen seien. Die ganze weitere Deduction Steiner's beruht nun darauf, dass diese Reflexbewegungen der Lider dem Beobachter „den Eindruck von Schmerzensäusserungen“ gemacht haben. Dies scheint mir eine recht unzulängliche Basis für die Entscheidung einer immerhin interessanten Frage. Worauf kann dieser Eindruck beruhen? Begleitende Bewegungen des Körpers beweisen für die Schmerzhaftigkeit des Eingriffs hier so wenig, als bei der Durchschneidung des Bogengangs einer Taube. Sie werden übrigens ebensowenig angegeben, wie ein anderes Schmerzsymptom. Jener Lidreflex kann ja auch ganz anders zu Stande kommen. Wer das Vestibulum für ein Gehörorgan hält, dürfte wohl keine Schwierigkeit in der Annahme finden, die Läsion desselben bringe intensive Schallempfindungen hervor und diese erzeugten den Augenschluss beim Fisch wie sie es bei Luftthieren thun. Ich schliesse mich dieser Meinung nicht an; aber sicherlich kann der fragliche Reflex ganz wohl von Sinnesempfindungen abhängen. Dass er ein Schmerzreflex sei, ist, soviel aus den Aeusserungen Steiner's ersichtlich, nur eine ungestützte Vermuthung. Damit entfällt aber die ganze Deduction. Ist der Lidreflex kein Schmerzreflex, so braucht am Facialis nicht gezerrt worden zu sein u. s. f.

Steiner beruft sich auf die Angabe Sewall's: „dass nur dann Bewegungsstörungen auftraten, wenn seine Haifische die Augenlider plötzlich schlossen.“

Dieses Citat ist ein völliger Irrthum. Steiner dürfte aus dem Gedächtniss citirt haben. In der ganzen Abhandlung Sewall's kömmt das Wort Augenlid nicht vor und ist von einem Schliessen der Augen an keinem Orte die Rede.

Die Stelle, welche Steiner einzig meinen kann, handelt von den Augenbewegungen, mit welchen die Fische wie andere Thiere passive Kopfdrehungen compensiren. Es wird constatirt, dass dieselben beim unverletzten Thiere immer vorhanden sind: „der Reflex war bloss bei jenen Labyrinthläsionen beeinträchtigt, welche von sehr ausgesprochenen und bleibenden Gleichgewichtsstörungen begleitet waren" (pag. 348, l. c.). Das vollständige Stillschweigen Sewall's über den Lidreflex ist um so auffallender, als dieser Beobachter den Augenbewegungen bei seinen Versuchen besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Er sagt: „er könne das Auftreten von Nystagmus bei mechanischer Reizung der Ampullarnerven in vollster Ausdehnung bestätigen. Berührung eines Ampullarnerven mit einem Instrument bringt am Fisch heftige schnellende Bewegungen beider Augen hervor. Leichte mechanische Reizung der Ampulle selbst hat denselben Effect, wenn der Nerv intact ist. Reizung der Vestibularsäckchen, besonders die Entfernung der Otolithen aus denselben, erzeugt heftigen Nystagmus. Durchschneidung der Canäle allein war ohne solchen Erfolg."

Wenn nun Sewall bei so genauer Beobachtung der Augen von einem Reflex an den Lidern Nichts zu berichten weiss, so ist wohl anzunehmen, dass Prof. Steiner entweder eine zufällige, nicht selten eintretende Bewegung derselben irriger Weise als Reflex vom Vestibulum ausgelegt habe, oder sonst wie, etwa durch Bulbusbewegungen getäuscht worden sei.

Die Meinung, dass die Bewegungsstörungen nach Extractionsversuchen am Vestibularapparat durch Zerrung am Acusticusursprung und Nackenmark bedingt seien, ist aber nothwendiger Weise auch noch der Prüfung zu unterwerfen, ob die Störungen denn ausbleiben bei solchen Läsionen der Vorhofsgebilde, bei denen an ihnen überhaupt nicht gezerrt wird. Prof. Steiner hat keine solchen Versuche unternommen, wohl aber Sewall.

Er giebt Folgendes an: „Gelegentlich erzeugen weder Schnitte in die Säckchen noch Entfernung der Otolithen daraus (Auswaschen mittelst einer Glaspipette) die geringste merkbare Veränderung im Benehmen des Thieres. Andererseits war dieselbe

Behandlung häufig von ganz bestimmten unzweifelhaften Zeichen von Gleichgewichtsstörung gefolgt. Blosses Eröffnen des Utriculus am Rochen (scate) ist ohne Erfolg, aber nach Entfernung der Otolithen besteht gewöhnlich eine Tendenz in einem Kreis nach der operirten Seite und abwärts zu schwimmen, und nach beiderseitiger Entfernung der Otolithen taucht das Thier nach unten und macht gelegentlich Purzelbäume in verticaler Ebene. Die Effecte treten stärker hervor, wenn der Boden des Vorhofs mit der Scalpellspitze gekratzt wird. Viel deutlichere Störungen folgen derselben Behandlung bei Haien. Nach einseitiger Operation taucht der Fisch abwärts gewöhnlich nach der verletzten Seite; wenn die Otolithen von beiden Seiten entfernt waren, folgte eine complicirte Störung, anscheinend hervorgehend aus einer combinirten Tendenz, Purzelbäume zu machen und sich um die Längsaxe des Körpers zu drehen, so dass das Resultat eine Spiralbewegung durch das Wasser war. Aehnliche Effecte folgen einfacher „Laceration" des Utriculus ohne Entfernung der Otolithen."

„Weitaus die meisten positiven Resultate folgen Versuchen am Sacculus. Wenn dieser Sack beim Rochen auf einer Seite mit der Scheere geöffnet wird, entsteht unmittelbar eine Tendenz, steiler nach abwärts zu tauchen als gewöhnlich und sich nach der verletzten Seite um die Längsaxe zu drehen. Wenn dieselbe Verletzung beiderseits gesetzt worden ist, verwandelt sich die seitliche Bewegung gewöhnlich in eine Reihe von Purzelbäumen" u. s. f.

Bei all diesen Versuchen wird nun niemals an den Ausbreitungen des N. acusticus gezerrt. Zerrung an diesen, am Stamm und Nackenmark ist also durchaus keine Bedingung für Bewegungsstörungen vom Vestibulum aus.

Wenn es also unthunlich erscheint, diese Störungen auf Läsion anderer Organe als der Vorhofsäckchen selbst zu schieben, so ist durch die Versuche von Prof. Steiner und Sewall erwiesen, dass mechanische Reizung und Verletzung des Vestibulums schwere Bewegungsstörungen erzeugt. Die oben citirte Frage Prof. Steiner's: „Ich frage, wie sollte es da zu Zwangsbewegungen kommen?" beantworten wir einfach dahin: Weil die Vestibularapparate periphere Organe des statischen Sinnes sind.

Ueber Versuche, die Otolithenmembranen bei Amphibien, Vögeln und Säugern isolirt mechanisch zu reizen, habe ich nicht zu berichten. Solche Reizung erscheint mir an Utriculus und Sacculus

nicht ausführbar, ohne Störungen in den Bogengängen zu setzen, deren Folgen die Erscheinungen ganz undurchsichtig machen müssen und auch die Lagena der Tauben halte ich für ganz unzugänglich für solche Versuche.

Dagegen scheint es mir möglich, aus dem grossen Complex von Reizerscheinungen, welche die Durchschneidung des Acusticus setzt, eine Gruppe herauszuheben, welche nicht von den Nerven (der Schnecke oder) der Bogengänge, sondern von denen der Säckchen abhängen dürfte.

Bechterew[1]) giebt die weitaus genaueste Beschreibung der Phänomene im Folgenden:

„Sogleich nach Durchschneidung eines Hörnerven tritt an dem Versuchsthier das Symptom der Rollung um die Längsaxe des Körpers nach der verletzten Seite hin auf, in Begleitung einer stark ausgeprägten Ablenkung der Augen, des gleichseitigen Auges nach unten und aussen, des entgegengesetzten nach oben und innen. In beiden Augen war ausserdem starker Nystagmus in der der Augenablenkung entgegengesetzten Richtung bemerkbar nebst einer unbedeutenden Pupillenerweiterung am Auge der verletzten Seite. — Die Rollung des Thieres ist in den ersten Tagen nach der Operation am stärksten, indem sie beinahe unaufhörlich während mehrerer Stunden fortdauert. Nur zuweilen beruhigt sich das Thier auf einige Zeit und nimmt eine der Seite der Verletzung entsprechende Seitenlage ein. Dabei bewahrt der Kopf des Thieres eine besondere Seitenstellung, indem die der verletzten Seite entsprechende Wange nach unten, die andere nach oben gerichtet ist. Die Augenablenkung und der Nystagmus dauern auch während des Ruhezustandes des Thieres fort, obgleich schwächer als während des Anfalls der Rollbewegungen. Ausserdem lässt sich an dem Thiere beinahe immer eine eigenthümliche Lage der Extremitäten beobachten. Nämlich die der verletzten Seite entgegengesetzten Extremitäten sind nach aussen gestreckt und mit solcher Kraft gespannt, dass eine Beugung derselben nur mit Mühe gelingt. Die der verletzten Seite entsprechenden Extremitäten dagegen sind an den Leib gezogen, halb gebeugt und lassen sich ohne jeden Widerstand passiv beugen und strecken.

1) Bechterew, Acusticusdurchschneidung. Pflüger's Archiv Bd. 30.

Dieses eigenthümliche Verhalten der Extremitäten tritt am deutlichsten bei der gewöhnlichen Lage des Thieres auf der verletzten Seite hervor. In jeder anderen Position, z. B. beim Umdrehen des Thieres in die Rückenlage, nimmt diese Differenz in der Spannung der Extremitäten bemerkbar ab und verschwindet sogar vollständig. Diese Seitenlage trägt deutlich den Charakter einer Zwangslage an sich. Wenn man das Thier von seinem Platz wegbewegt oder es auf die andere Seite zu drehen versucht, so bietet es immer einen starken Widerstand, indem es die Extremitäten der entgegengesetzten Seite an die Diele stemmt und sobald es in Ruhe gelassen wird, wieder seine frühere Lage einnimmt oder seine Rollbewegung beginnt."

— — — — — — — — — — — — — —

„Wenn das Thier sich von der Operation erholt, so verschwindet gewöhnlich die Rollung im Verlauf der ersten Woche, die Seiten-Zwangslage bleibt jedoch meistentheils noch einige Zeit nach Aufhören der Rollung bestehen. Erst nach und nach gewinnt das Thier die Möglichkeit, sich auf den Füssen zu erhalten, obgleich die Augenablenkung, die Seitenlage des Kopfes und eine besondere Neigung, auf die Seite der Durchschneidung zu fallen, noch sehr lange Zeit zu bemerken sind."

Bechterew hat später[1]), sich gegen eine abfällige Bemerkung Baginsky's verwahrend, erklärt, diese Resultate stützten sich nur auf solche Versuche, wo auf Grund einer sorgfältigen postmortalen Untersuchung eine Verletzung des Gehirns vollkommen ausgeschlossen werden konnte.

Ein Theil der geschilderten Symptome stammt sicher aus den Nerven der Ampullen. Es sind das die Rollungen und Nystagmuserscheinungen, welche ganz ebenso beim Drehschwindel vorkommen. Die Augenablenkung ist die als Magendie'sche Augenstellung bekannte (von welcher Baginsky gelegentlich äussert, sie sei noch nie auf Erregung der Vestibularnerven bezogen worden); auch sie dürfte grösstentheils von den Ampullarnerven abhängen. Bei jeder genügend raschen passiven Rotation eines gesunden Menschen oder Thieres rücken die Bulbi in extreme Stellung und oscilliren dort in raschem Nystagmus; ebenso wie bei Vögeln der Kopf. Die Rollungen der Thiere nach der verletzten Seite und später ihr

1) Neurol. Centralblatt 1887, p. 192.

Manègegang ebendahin beweisen, dass sie die Empfindung haben, nach der unverletzten Seite sowohl um die Längsaxe als um die verticale Axe des Kopfes rotirt zu werden. Bei Thieren mit divergenten Augenaxen stellt eine solche Rotation, wenn wirklich z. B. nach rechts vollführt, das linke Auge nach unten links, das rechte nach oben links. Dies ist auch die Augenstellung der operirten Thiere.

Es ist aber auffallend, dass diese Augenablenkung bestehen bleibt bei abnehmendem und schwindendem Nystagmus. Sie entspricht dann jenen dauernden Augenverstellungen, welche Gräfe für die veränderte Lage des Kopfes nachgewiesen hat, und welche man an jedem Thier mit divergenten Augenaxen sieht, das auf einer Seite liegt und nicht etwas fixirt. Bei einem Thier, dem links der Acusticus durchschnitten wurde, entspricht die beschriebene Stellung der Bulbi genau jener, welche die Augen eines gesunden Thieres einnehmen, dessen Kopf auf der rechten Seite liegt und zugleich nach vorne unten hängt. Wir müssen daher die den Nystagmus überdauernde Augenablenkung dahin interpretiren, dass durch die Acusticusdurchschneidung derselbe Reiz gesetzt wird, wie durch jene Kopflage.

Ebenso erklärt sich die Seitenlage der Thiere und die Haltung ihrer Extremitäten. Dies ist genau das Verhalten eines normalen Thieres, das auf einer schrägen, z. B. auf einer von links oben nach rechts unten stark geneigten Fläche stehen sollte. Ein solches Thier hätte bei normaler Haltung den Kopf stark nach rechts geneigt. Es wird sich, um nicht zu gleiten, stark auf die linke Seite drehen, schliesslich sich auf die schiefe Ebene legen und die beiden rechtsseitigen Extremitäten energisch gegen die Fläche stemmen. Dann haben wir genau die Zwangslage des Thieres, dem links der Acusticus durchschnitten ist. Wir Menschen verhalten uns, mutatis mutandis, ganz ebenso; wir ziehen auf nach rechts schiefer Fläche stehend, den linken Fuss an, strecken das rechte Bein aus und neigen den Körper nach der linken Seite. Analog, wenn wir auf solcher Fläche liegen. Werden wir aber dann auf den Rücken gedreht, so lässt das Bestreben nach, mit den Extremitäten das Gleiten zu hindern und dieselben werden beiderseits gleich schlaff, wie bei den operirten Thieren. Wir dürfen also annehmen, dass von der Wundfläche des linken durchschnittenen Nerven dem Centrum dieselben Reize zugehen,

wie vom unversehrten peripheren Organe bei starker Neigung des Kopfes nach rechts, d. h. dass in einem Theile des Acusticus normaler Weise verlaufende Reize im Centrum Lageempfindungen hervorrufen, wie wir es aus anderen Gründen von den Otolithenmembranen und ihren Nerven vermuthen.

Die Rotationsempfindungen der durchtrennten Ampullarnerven und die gleich gerichteten Neigungsempfindungen der Säckchennerven rufen natürlich gleichsinnige Reflexbestrebungen zur Erhaltung des bedroht erscheinenden Gleichgewichtes hervor. Eine Trennung der von den beiden Nervengruppen ausgelösten Bewegungen und Haltungen ist also wohl erst möglich, nachdem die eine Art von Reizen abgeklungen ist und die andere isolirt zurückgeblieben. Erst nach dem Aufhören der Rollungen und des Nystagmus (der Reizerscheinungen der Ampullen) kann man mit grosser Wahrscheinlichkeit behaupten, dass die Zwangslage des Körpers, wie die Zwangshaltung des Kopfes und der Extremitäten ein Reflex sei, den die Säckchennerven auslösen. Es scheint sich auch hier wieder zu zeigen, wie bei dem Verhalten gegen den galvanischen Strom, dass die Säckchennerven bei schwächeren Reizen Reflexe auslösen, als die Ampullarnerven. Die im Nervenstumpfe entstehenden Reize bringen noch Wochen lang die Zwangslage u. s. f. hervor, wenn die Rotationsreflexe nur mehr in seltenen Paroxysmen auftreten [1]).

1) Ich kann nicht unterlassen, zu bemerken, dass Bechterew selbst die Phänomene anders deutet, als ich hier thue. Er ist geneigt sie insofern für Ausfallsphänome zu halten, dass sie von den allein restirenden und nun nach der einseitigen Durchschneidung des Acusticus überwiegenden normalen Reizen der gesunden Seite herstammen sollten. Er sieht sich dazu genöthigt durch die Thatsache, dass all die geschilderten Zwangsbewegungen und Zwangslagen sogleich verschwinden, wenn auch der zweite Acusticus durchschnitten wird. Ich kann mich dieser Meinung nicht anschliessen. Die natürliche Auffassung der Phänomene und ihres allmählichen Schwindens ist doch die, dass sie Reflexe von der langsam verheilenden Nervenwunde aus seien. Die Durchschneidung des zweiten Hörnerven setzt einen gleichen, in jedem Sinne mit dem entgegengesetzten Vorzeichen versehenen Reiz, der den erstgesetzten ungleichmässig compensirt. Die Raumempfindungen des linkerseits operirten Thieres, nach rechts gedreht zu werden und geneigt zu sein, werden durch die nachfolgende rechtsseitige Operation in ein Chaos von Schwindelempfindungen verwandelt und die vorher in ganz bestimmter Richtung wirkenden Bewegungsantriebe in ein uncoordinirtes Zappeln. —

Ich glaube also die Phänomene der Acusticusdurchschneidung als Argument für die Meinung ansprechen zu dürfen, dass im Acusticus die peripheren Reize für Empfindungen der Lage geleitet würden.

Es scheint mir nun auch der Versuch berechtigt, die bekannte Kopfverdrehung von Thieren, an deren Labyrinth starke Eingriffe stattgefunden haben, zu betrachten und zu sehen, ob die immer noch räthselhafte Erscheinung durch unsere Theorie keine Aufklärung erhalten könne.

Das Phänomen ist bekannt und oft beschrieben worden, meist an Tauben, an denen ja auch die Labyrinthoperationen am häufigsten vorgenommen werden. Nach schwereren, besonders beiderseitigen Eingriffen ins Labyrinth tritt am 3., 4. oder 5. Tage nach der Operation, nachdem die stürmischen Roll- und Sturzbewegungen abgeklungen sind, allmählich eine Neigung des Kopfes nach einer Seite in transversaler (frontaler) Ebene ein. Sie nimmt von Tag zu Tag zu bis zum höchsten Grade, wobei der Kopf um 180° gedreht, der Scheitel nach unten dem Boden zu, der Schnabel nach oben gewendet ist. Wenn dieser Grad noch nicht erreicht ist, steigert Aufregung des Thieres die Verdrehung des Kopfes, wie überhaupt den ganzen Complex von zugehörigen Erscheinungen, von Kopfpendeln, Roll- und Kreisbewegungen, Einknicken des Beines derselben Seite u. s. f. Die Kopfverdrehung ist andauernd durch Monate, so lange das Thier lebt. — Sie ist schwer zu vermeiden. Ich habe einmal eine Taube mit einseitiger Exstirpation des häutigen Labyrinths ohne Kopfverdrehung durchgebracht; Herr Prof. Ewald hat mit seiner Plombirmethode sie ausbleiben sehen nach derselben Exstirpation beiderseits.

Diese dauernden Störungen sind schon seit Langem von den unmittelbaren Wirkungen des Eingriffes als secundäre Störungen abgetrennt worden.

Ich habe 1874 darauf aufmerksam gemacht, dass man diese Kopfverdrehung an jeder normalen Taube hervorrufen könne; wenn

---

Muss ich es ausdrücklich betonen, dass die oben versuchte Deutung der Magendie'schen Augenstellung nicht prätendirt, in den pathologischen Fällen wo diese erscheint, den Sitz der Krankheit in das Labyrinth zu verlegen? Ich beabsichtige das ebenso wenig, als ich mit der Behauptung, dass wir mit den Augen sehen, den intracerebralen Ursprung etwa des Flimmerscotoms bestreiten würde.

man sie in der Hand hält und um die Längsaxe ihres Körpers dreht, so hält das Thier doch den Kopf in seiner Normalstellung; man verdreht dann den Taubenkörper gegen den Kopf, wie die operirte Taube den Kopf gegen den normal stehenden Körper, und schliesslich, wenn man den Bauch der Taube nach oben gewendet hat, ist der Hals um 180° gedreht, der Scheitel steht ventral, der Schnabel dorsal.

Man kann nun mit Sicherheit aussagen, dass die Kopfverdrehung der operirten Tauben kein Ausfallsphänomen ist. Jene kurze Zeit relativer Normalität, welche nach beiderseitiger Exstirpation zwischen dem Bewegungssturm der ersten Tage und der Kopfverdrehung liegt, ist doch jene Zeit, in welcher der Ausfall irgend welcher Empfindungen am reinsten bemerkbar sein müsste; neugebildet wird am Organ in den späteren Tagen Nichts. Zweitens ist durch Ewald bewiesen worden, dass bei sehr sorgfältigem Vorgehen die Verdrehung vermieden werden kann, wie sie auch beim Menschen nicht auftritt, der z. B. durch Scarlatina eine beiderseitige Labyrinthstörung mit absoluter Taubheit erlitten hat. Ihr Auftreten nach einseitigen Operationen könnte man auf die Persistenz der normalen Thätigkeit des intacten Labyrinths der andern Seite schieben. Aber sie erscheint am sichersten bei beiderseitigen Eingriffen, wo daran nicht gedacht werden kann.

Es handelt sich dabei auch nicht um eine Contractur (der Halsmuskeln), wie solche durch absteigende Degeneration von Leitungsbahnen erzeugt wird. Die Verdrehung löst sich in der Narkose. Sie ist also die Folge eines Reizes, der entweder in den Centren entsteht oder reflectorisch von der Operationsstelle aus wirkt.

Es ist angegeben worden, dass bei den Thieren mit Kopfverdrehung im Kleinhirn Veränderungen nachweisbar wären, und diese wurden für die nächste Ursache der Halsmuskelcontraction erklärt[1]). Ich darf hier anführen, dass Prof. Obersteiner wie Prof. S. Exner gelegentlich einer im Brücke'schen Laboratorium vorgenommenen Untersuchung desselben Objectes jede Veränderung des Kleinhirns, besonders die von Stefani angegebene Atrophie der Purkinje'schen Zellen vermisst haben. — Das ist ja selbstverständlich, dass von der Erörterung jene Fälle auszuschliessen

1) Stefani, Arch. p. l. scienze med. Vol. IV. Nr. 8.

sind, wo grobe Veränderungen vorliegen, wie Meningitis im Gefolge von Knocheneiterung od. dgl.

Baginsky (Dubois Arch. f. Phys. 1885) hat bei Hunden nach dem Erbrechen des Labyrinthes dieselbe andauernde Schiefstellung des Kopfes gesehen und anatomische Läsion des Gehirnes nicht nachweisen können. [Hiervon erlaube ich mir Act zu nehmen; auf die Ausführungen Baginsky's, welcher eine Affection des Gehirns ohne anatomischen Nachweis annimmt, einzugehen, ist hier nicht der Ort[1].]

Fehlen also alle Grundlagen für die Annahme, die dauernden Folgen der Labyrinthzerstörung seien durch centrale Veränderungen bedingt, so bleibt nur der Schluss übrig, die Kopfverdrehung sei eine Reflexcontraction, ausgehend von Reizen, die im Acusticusgebiete entstehen.

Wir sind so gewohnt, nach Zerstörung eines Organes oder Durchschneidung eines Nerven nur Ausfallserscheinungen zu beobachten, dass wir einiges Widerstreben empfinden gegen die Annahme, nach Ausheilung der Läsion des Labyrinths würden im Acusticus noch immer, durch Monate hindurch, pathologische Reize zum Centrum geleitet, welche eine so gewaltsame Veränderung des normalen Verhaltens bewirken sollten. Indess die Thatsache der dauernden Kopfverdrehung besteht; vielleicht ergiebt genauere Betrachtung der Sachlage, dass wir mit dieser, wie mir scheint, nicht zu umgehenden Deutung, dem Acusticus nichts Enormes zumuthen.

Zunächst müssen wir festhalten, dass die Consequenzen der Labyrinthläsion überhaupt von einer ausnahmsweisen Intensität sind. Die Stürme der Rollbewegungen, Ueberstürzungen, die Energie, mit welcher die Zwangslagen festgehalten werden nach Durchschneidungen des Acusticus finden wohl keine Analogie bei Durchschneidung irgend eines anderen sensiblen oder sensorischen Nerven. Es wird eben vom Acusticus aus der ganze Locomotionsapparat der Thiere in Action gesetzt und auf diesen Nerven wirkende Reize lösen darum unverhältnissmässig starke Reactionen aus. Wir dürfen daher nicht aus relativ starken motorischen Erfolgen schliessen, dass — wenn überhaupt — so intensive Reizung des Acusticus bestehe; geringe Reizungen des Nerven können solchen Reflexen wohl zu Grunde liegen.

1) S. Anhang.

Was geschieht am Endorgan des Acusticus nach den in Frage stehenden Läsionen des Labyrinthes?

Wir betrachten dabei nur aseptisch vorgenommene Eingriffe, bei denen eine Vereiterung nicht stattfindet. — Es tritt eine Entzündung des Labyrinthes ein; bei der Section nach längerer Zeit findet man das Vestibulum und die Bogengänge mit Granulationsgewebe und später mit Bindegewebe erfüllt, reichlich von sehr weiten Gefässen durchzogen, in welchem die nervösen Endapparate zu Grunde gegangen sind, bis auf mehr minder kenntliche Reste des Spindelzellenknorpels. Der Gedanke lag nahe, die secundären Störungen kämen auch bei Exstirpationen nicht von den exstirpirten Theilen, resp. ihren Nervenstümpfen, sondern von jenen Endapparaten, welche ursprünglich unverletzt, dann der Entzündung anheimfielen. Sowie ein durch chronische Entzündung erblindetes Auge den Kranken oft noch lange Zeit durch subjective Lichterscheinungen quält, könnte es wohl sein, dass eben die unberührt gebliebenen Theile dann durch lange Zeit im Reizzustand sich befänden. Bei den Exstirpationen des Labyrinthes bleibt meistens Schnecke sammt Lagena und fast immer der Sacculus, mehr minder verletzt zurück. Sollten von diesen die secundären Erscheinungen ausgehen?

Ich habe die Exstirpation nun so vorgenommen, dass alle Ampullen, der Utriculus und die Schnecke herausgenommen wurden; der Sacculus durch Abschaben der medialen Wand der Vorhofes zerstört und dann in das weit offene Cavum Osmiumsäure getropft wurde (welche unter solchen Verhältnissen nicht in die Schädelhöhle gelangt, während sie, ins geschlossene Labyrinth injicirt, immer am Gehirn nachweisbar ist). Aber trotz dieser höchst gründlichen Zerstörung des Labyrinths waren die secundären Erscheinungen die gewöhnlichen. Entzündung zurückgebliebener Nervenapparate ist also nicht Bedingung für dieselben.

Wie verhalten sich die Nervenstümpfe in dem nach Exstirpation des häutigen Labyrinthes verheilenden Vestibulum? Bei der mikroskopischen Untersuchung solcher Objecte fand ich, dass die Nerven nicht, mindestens nicht immer, am Foramen abreissen, sondern ein Stück weit in die Narbenmasse zu verfolgen sind. Vom Nervus cochlearis lag einmal ein Stück mit wohl erhaltenen Ganglienzellen in derselben; der Nerv für Utriculus und die zwei vordern Ampullen reichte ebenfalls in die Narbe herein, aber voll-

kommen degenerirt. Im Foramen lagen schon markhaltige Fasern, und an den Ganglienzellen der Intumescentia Scarpae, welche der medialen Wand des Vestibulum in der Schädelhöhle anliegt, waren die Ganglienzellen anscheinend intact.

Es ist nun immerhin möglich, dass ein Nerv, der einen entzündeten Knochen passirt und ein diesem anliegendes Ganglion sich bezüglich der Dauer von in ihnen entstehenden Reizen anders verhalten, als ein in Weichtheilen liegender, resecirter Nerv. Aber die naheliegende Analogie der Zahnnerven spricht nicht dafür. Nach einer Zahnextraction verändert sich der Alveolarknochen ebenfalls; aber der Nerv eines gesunden extrahirten Zahns schmerzt doch nicht durch längere Zeit.

All diese Erwägungen der Wirkung von Entzündungsreizen erscheinen besonders darum hinfällig, weil, wie wir gesehen haben, auch die einfache Durchschneidung des Acusticus-Stammes sehr lange dauernde Erscheinungen bedingt (s. o. p. 249). Während ein durchschnittener sensibler Nerv nach einiger Zeit nicht mehr schmerzt, ein durchschnittener Opticus später keine starken Phosphene gibt, bestehen nach Durchschneidung eines Acusticus am Hunde Störungen der Motilität durch viele Wochen (Bechterew) und zwar gerade die Verstellung der Augen und die Schiefstellung des Kopfes, welche der Kopfverdrehung der Vögel entsprechen. Was bedingt nun diesen Unterschied zwischen dem Acusticus und anderen Nerven? Sollte er darauf beruhen, dass der Hörnerv im ganzen Verlaufe mit Ganglienzellen durchsetzt ist, und hierdurch sein Verhalten nach der Durchschneidung ein anderes wird, als da von Nerven, welche nur aus Fasern bestehen? Ich halte es für wohl denkbar.

Jedenfalls müssen wir die Thatsache annehmen, dass der seiner Endorgane beraubte, wie der durch die Resection von ihnen getrennte Acusticus fast immer und durch lange Zeit Reize ins Gehirn schickt. Ob das aber sehr intensive Reize sein müssen, etwa wie sie von einem Amputationsneurom ausgehen? Ich glaube das nicht. Die Kopfverdrehung lässt sich erklären, wenn der Acusticusstumpf auch nur ganz schwache Reize ins Centrum schickt, wie man nach Analogie der Erscheinungen bei Amputirten annehmen darf.

Wenn die hier vertretene Theorie richtig ist, dass von den Otolithenmembranen Empfindungen der Lage des Kopfes geliefert werden, welche mit jeder Lageveränderung desselben gegen die

Verticale, jeder Neigung und Schiefstellung sich ändern und wenn wir annehmen, wie wir ja jedenfalls müssen, dass im durchtrennten und verheilenden Acusticus irgend welche, wenn auch schwache Reize entstehen und zum Centrum geleitet werden, so lässt sich daraus mit Nothwendigkeit eine bedeutende Verdrehung des Kopfes ableiten.

Der aufrechten Haltung des Kopfes entspricht eine bestimmte Combination von Empfindungen aus den Otolithenapparaten. Die von der Trennungsstelle der betreffenden durchrissenen oder durchschnittenen Nervenfasern dauernd ausgehenden Reize werden aber nicht wohl genau die Combination reproduciren, welche in den Apparaten eben bei aufrechter Kopfhaltung entsteht. Jede andere aber muss die Empfindung einer, wenn auch geringen Neigung des Kopfes erzeugen, und wird die Kopfwendung hervorgerufen, welche im normalen geeignet ist, den Kopf wieder aufrecht zu stellen. Während aber beim normalen Thier diese Kopfwendung die Empfindungscombination der Normalhaltung wieder herstellt, erfolgt das beim operirten Thiere nicht; die Empfindung einer (der nun wirklich hergestellten entgegengesetzten) Kopfneigung bleibt bestehen und ruft weitergehende Kopfwendung hervor in derselben Richtung wie vorher u. s. f., bis die maximale Kopfverdrehung erreicht ist, über welche hinaus die anatomischen Gelenkhemmungen, auch des beweglichen Vogelhalses, eine Steigerung verbieten. Diese Consequenz einer gefälschten Empfindung von der Lage des Kopfes entsteht aber im Widerspruch mit den Angaben des Gesichtssinnes und den Tastempfindungen der Füsse; sie entwickelt sich darum langsam, nicht immer bis zum Maximum, und führt zu einer Trennung der sonst verbundenen Haltungsinnervationen von Kopf und Rumpf. Während der Kopf um 180° verdreht ist, bleibt der Rumpf des Vogels gerade stehen oder doch nur wenig nach derselben Seite geneigt, mit etwas eingeknicktem Bein dieser Seite.

Der entwickelten Entstehung der Kopfverdrehung durch Summation an sich schwacher aber andauernder Reize entspricht auch der thatsächliche Entwicklungsmodus des Phänomens. Langsam von Tag zu Tag zunehmend, tritt die Neigung des Kopfes ein, zwischen der Haltung in Ruhe und derjenigen bei Aufregung um eine immer mehr von der Normalstellung verschiedene Position schwankend. (Denn die Kopfverdrehung nimmt durch ängstliche Aufregung des Thieres ebenso zu, wie die etwa vorhandenen leisen Schwankungen des Kopfes zu heftigem Pendeln gesteigert werden;

wahrscheinlich durch die gesteigerte Reaction des Reflexcentrums, wie ja auch die Balancebewegungen des normalen Menschen excessiv werden, wenn Angst vor dem Sturz von einer Höhe ihm eine, an sich leichte äquilibrische Aufgabe erschwert.)

Warum aber wird der Kopf immer in der Frontalebene verdreht, da ja doch die Wundreize ebensowohl die Empfindung einer Vor- und Rückwärtsneigung des Kopfes geben werden, wie die einer Seitenneigung? Wirklich sieht man auch im Beginn der Verdrehung den Kopf einmal mehr nach vorn, einmal mehr zurück gehalten, als normale Tauben zu thun pflegen; aber die Seitenneigung schlägt dann fast immer vor, und am ganz verdrehten Kopfe ist schwer zu beurtheilen, wie er in Bezug auf vor- und rückwärts gehalten werde. Der Grund hierfür ist, dass bei concurrirenden Schwindelempfindungen die Reaction auf die Drehung in der Frontalebene des Körpers immer die stärkste ist, wie ja auch für die Erhaltung des Gleichgewichtes, besonders im Fliegen, die symmetrische Vertheilung des Körpergewichtes am wichtigsten ist. Wer die Purkinje'schen Drehschwindelversuche nachgemacht hat, weiss wie viel intensiver der Drehschwindel in frontaler Ebene auftritt als in horizontaler, und bei Durchschneidung des Acusticus sind unter den gewaltsamen Bewegungen des operirten Thieres die Rollungen um die Längsachse immer die allerintensivsten. Doch habe ich auch statt der Seitenwendung des Kopfes Vorbeugungen gesehen, so dass der Scheitel nach abwärts, der Schnabel direct nach rückwärts stand.

Noch ist zu erklären, weshalb bei einseitiger Operation die Kopfverdrehung immer nach der Seite der Läsion erfolgt. Es verhält sich ähnlich mit den Folgen der Bogengangverletzung. Nach der einseitigen Durchschneidung eines Canales erfolgt Manègegang und Kopfpendelung immer nach der verletzten Seite. Es ist die Vermuthung gestattet, dass zwar (wie wir aus anderen Thatsachen schliessen müssen) in allen Vestibularapparaten die betreffenden Empfindungen von Rotation oder Neigung nach beiden Seiten entstehen können, bei Läsion des bezüglichen Nervenzweiges aber die Empfindung einer Bewegung oder Neigung nach der andern Seite vorwiegt, etwa wegen ungleicher Anzahl der entsprechenden Nervenfasern.

Wurde auf beiden Seiten das Labyrinth exstirpirt, so ist der Reiz der Nerven-Wunde und -Narbe doch nicht auf beiden Seiten

vollkommen gleich stark, sondern wiegt auf der einen vor und der Kopf verdreht sich dann nach dieser Seite.

Manchmal gelingt es, bei sorgsamster Behandlung nach Exstirpation die Kopfverdrehung zu vermeiden; in solchem Falle sind wohl die Reize im verheilenden und vernarbten Nerven minimal.

Durch unsere Theorie von der Leistung der Otolithenapparate lässt sich also das auffällige Phänomen der Kopfverdrehung nach Läsion des Acusticus, welches bei Fröschen, Vögeln und Säugern auftritt, gut erklären. Das scheint mir eine wesentliche Stütze für die Hypothese zu sein und die hier im durchtrennten Acusticus auftretenden Wundreize scheinen mir die Lücke auszufüllen, welche durch die Unmöglichkeit mechanischer Reizung der Otolithenmembranen in unserer Beweisführung geblieben war.

Ich resumire die leider unvermeidlich weitschweifigen Ausführungen dieses Capitels dahin: Die Ausfallserscheinungen nach experimenteller Zerstörung des Vestibulums bei Fröschen und bei Mangel oder krankhafter Vernichtung desselben bei Taubstummen, beweisen, dass der Vestibularapparat nothwendig ist, um die Lage des Körpers im Raum dann noch zu empfinden, wenn durch Immersion im Wasser die Schwereempfindungen der Glieder wesentlich abgeändert und nahezu aufgehoben sind. Directe, isolirte Erregung der Otolithenmembranen ist weder mit mechanischen noch mit galvanischen Reizen in beweisender Art gelungen. Nur bei Fischen, wo Verletzung der Bogengänge wirkungslos sein soll, haben die Versuche von Sewall und Steiner gezeigt, dass auf Verletzung der Säckchen Bewegungsstörungen folgen. Unsere Hypothese über die Funktion der Otolithen erklärt aber mehrere auffallende und räthselhafte Erscheinungen, vor allem die dauernde Kopfverdrehung nach Labyrinthverletzungen.

VI. Theoretisches.

Wir müssen nun versuchen, unter der Annahme, dass die Leistung der Otolithenmembranen die hier entwickelte ist, eine, wenn auch ganz allgemeine und rudimentäre Vorstellung von ihrer Function zu entwickeln, und zwar für den Menschen. Die Grundlagen für diese Deduction sind insoweit unsichere, als gerade für die Säugethiere wir nicht im Stande sind, mit voller Sicherheit, sondern nur mit Wahrscheinlichkeit die Richtungen festzulegen, in welchen die Gravitation auf die nervösen Endapparate

wirkt. Die anatomischen Thatsachen erlaubten das nur mit einer, immerhin grossen, Wahrscheinlichkeit zu thun. Sollten weitere, genauere Bestimmungen hierin zu Abänderungen zwingen, so wird die Theorie diesen entsprechend mit Leichtigkeit geändert werden können.

Ich recapitulire zunächst kurz die Disposition der Otolithenplatten und ihrer Gleit- und Perceptionsrichtung bei den verschiedenen Vertebraten.

Bei den Fischen: Utriculus horizontal, Sacculus horizontal von vorne nach hinten. Lagena vertical von oben nach unten.

Beim Frosch: Utr. horizontal, Sacculus? Lagena vorne oben innen nach unten hinten aussen.

Bei den Vögeln: Utr. horizontal, vorne innen nach hinten aussen. Sacculus: horizontal, vorne aussen nach hinten innen.
Lagena: oben (aussen hinten) nach unten (innen vorne).

Bei den Säugern fehlt die Lagena, welcher bei den andern Vertebraten die Perception der verticalen Bewegung obzuliegen scheint. Man könnte daran denken, dass bei Thieren die immer am Boden kleben, wie die allermeisten Säuger, auch die feine Perception verticaler passiver Bewegung unwichtig ist, und dass deshalb bei ihnen ohne Schaden die Lagena ganz in der Schnecke aufgehen kann. Die Schiefstellung des ganzen Apparates und die wahrscheinlich bei den Säugern von hinten oben nach vorne unten verlaufende Gleitrichtung des Sacculus ersetzt den Verlust eines speciell für die Richtung oben-unten bestimmten Otolithenapparates gewiss hinreichend.

Gehen wir nun genauer auf die Verhältnisse beim Menschen ein.

Es ist oben (p. 226) dargelegt worden, dass bei der normalen, aufrechten Haltung des Kopfes die Ebene der horizontalen Bogengänge und der Macula utriculi um 45° nach rückwärts geneigt ist. In dieser Ebene liegt die „Gleitrichtung“ der Otolithenplatte des Utriculus und zwar von vorne medial, nach hinten lateral, so dass sie mit der von vorne oben nach hinten unten verlaufenden Kopfaxe einen nach hinten offenen Winkel einschliesst. Eine einfache Rechnung ergibt, dass sie daher mit der Verticalaxe des Schädels einen Winkel von 60° einschliesst.

Die „Gleitrichtung“ des Sacculus-Otolithen mussten wir an-

nehmen als beiderseits parallel, in einer Sagittalebene des Kopfes gelegen, bei aufrechter Haltung desselben von oben hinten nach unten vorne in einem Winkel von 45° verlaufend, also diesen Winkel mit der Verticalaxe des Schädels einschliessend.

Wir haben früher (p. 230) gesehen, dass wahrscheinlich jede Macula zwei entgegengesetzte Empfindungen liefert, weil in den beiden Hälften ihrer Ausdehnung in der „Gleitrichtung" die Zellhaare entgegengesetzt verlaufen, das Gewicht der Otolithenplatte demnach auf die beiden Hälften der Nervenendstelle entgegengesetzt wirkt. Nehmen wir an, es sei die Zerrung an den Haaren und die Geradestreckung derselben das wirksame Moment, so wird bei Normalstellung des Kopfes die obere, bei Umstürzung desselben um 180° die untere Hälfte der Macula erregt werden; sollte der Druck gegen die Verlaufsrichtung der Haare und die Verstärkung ihrer Knickung wirksam sein, so wäre das Verhalten umgekehrt.

In welchem Ausmaass werden die Maculae von der Lageveränderung des Kopfes beeinflusst? Betrachten wir zuerst die Drehung des Kopfes um seine Queraxe.

Die Macula sacculi mit ihrer in der Sagittalebene liegenden Gleit- und Gravitationsrichtung der Otolithenplatte macht jede Winkeldrehung des Kopfes nach vorne und rückwärts im gleichen Ausmaasse mit. Jene Wirkungsrichtung verläuft

bei aufrechter Normalhaltung des Kopfes 45° nach vorne unten
bei 45° Vorneigung „ „ vertical,
bei 45° Rückwärtsneigung „ „ horizontal.

Die Gleit- und Gravitationsrichtung einer Macula utriculi verläuft in einen Winkel von 45° nach hinten aussen. Sie beschreibt demnach bei einer vollen Umdrehung des Kopfes um seine Queraxe einen Kegelmantel und bildet mit der Horizontalebene

bei aufrechter Haltung des Kopfes einen Winkel von 30°
„ Vorneigung des Kopfes um 45° „ „ „ 0°
bei Rückwärtsneigung des Kopfes um 45° „ „ „ 45°
u. s. f.

Die Drehung des Kopfes um seine Queraxe wird also in viel vollkommenerer, proportionaler Weise von Veränderungen der Gravitation an den Maculis saccul. begleitet als am Utriculus. Die Mitbetheiligung des letzteren verhindert aber die sonst mögliche Zweideutigkeit der Angaben des Sacculus. Die Gleitrichtung dieses letzteren ist z. B. gegen die Verticale geneigt um 45°, sowohl bei

der Normalhaltung des Kopfes als wenn derselbe, um 90° nach vorne geneigt, das Gesicht gerade nach unten wendet. Aber die Gleitrichtung der Utriculi neigt sich im ersten Falle um 30° nach abwärts, im zweiten steht sie um 30° nach oben (die Gravitationswirkung der Otolithen wird negativ).

Die Wirkung der Gravitation auf die Nervenendigung ist an unserem Apparate nicht proportional dem Winkel, den die Gleitrichtung mit der horizontalen einschliesst, sondern proportional dem Sinus dieses Winkels. Daraus folgt, dass die Perception einer Veränderung der Lage schärfer erfolgen und dieselbe grösser geschätzt werden müsste, wenn der vorwiegend beeinflusste Apparat (also für die Vor- und Rückneigung des Schädels die Macula sacculi) mit ihrer Gleitrichtung nahe der Horizontalen steht, als wenn sich dieselbe der Verticalen nähert. Die Gleit- und Wirkungsrichder Sacculi steht horizontal bei Rückwärtsneigung des Kopfes um 45°. Es scheint nun hiermit zu stimmen, dass in den Versuchen von Delage[1]) die Rückwärtsneigung des Kopfes von 45° an überschätzt wird. Ich will aber hierauf kein Gewicht legen, weil erstens schon die Nachuntersuchung von Aubert einigermaassen andere Zahlen gegeben hat und weil das zugleich Kopflagen sind, in denen die vielfache Controle unserer Empfindung durch Bewegungen während unseres ganzen Lebens nicht in dem Ausmaass stattfindet, wie bei Lagen näher der aufrechten Normalhaltung; die Feinheit unserer Schätzung also wohl dadurch unentwickelt geblieben ist.

Betrachten wir nun die Seitenneigungen des Kopfes. Drehung um die horizontal von vorne nach hinten verlaufende Axe. — Dabei spielt die Wirkungsrichtung der Sacculi in einem Kegelmantel; ist bei symmetrischer, gerader Kopfhaltung um 45° nach vorne geneigt, liegt bei Seitenneigung des Kopfes um 90° horizontal und zwar verändert sich ihre Neigung in gleicher Weise bei Kopfdrehung nach rechts wie nach links. Auch die Wirkungsrichtungen der Utriculi beschreiben einen Kegelmantel, so dass jeder Kopfneigung von 45° eine Veränderung der Neigung gegen die Horizontale von 30° entspricht. Aber die Veränderungen an den Utriculis beider Seiten sind bei Seitenneigungen des Kopfes begreiflicherweise entgegengesetzt; wenn die Gravitationswirkung

1) Delage-Aubert, p. 42.

rechts abnimmt, nimmt sie links zu und umgekehrt. Da die Neigungen gegen die Horizontale nur zwischen 0° und 45° schwanken, so liegen sie immer in jener günstigen Region, wo die Sinusgrössen und damit die Gravitationswirkungen bedeutender sind.

Das wichtigste Resultat dieser Betrachtung ist: Es gibt für jede Lage des Kopfes nur eine bestimmte Combination von Gravitationsgrössen der Otolithen in den vier Maculis. Wenn, wie wir annehmen, die Gravitation der Otolithen empfunden wird, so ist jede Lage des Kopfes durch eine bestimmte Combination dieser Empfindungen charakterisirt.

Im Vorhergehenden ist fast ausschliesslich von der Wahrnehmung der Lage des Kopfes gesprochen worden; von der Perception translatorischer Beschleunigungen haben wir abgesehen. Wir müssen nun betrachten, wie durch den Otolithenapparat geradlinige Bewegung wahrgenommen und von Veränderung der Lage gegen die Verticale unterschieden werden kann.

Mach[1]) sagt: „Ich habe schon in meiner ersten Mittheilung betont, dass man für die Empfindung der Progressivbeschleunigung andere Organe annehmen müsse, wie für jene der Winkelbeschleunigung. Auch wurde dort bemerkt, dass bei strengem Festhalten an den specifischen Energieen sogar noch eine dritte Art Organe, nämlich für die Empfindung der Lage, nothwendig sei."

Eine solche dritte Art Organe existirt aber im Vestibulum, mindestens der Warmblüter nicht. Andrerseits ist die Gravitation eine geradlinige Beschleunigung, deren Wirkung auf die Otolithenapparate mit Veränderung der Kopfstellung zu- und abnimmt, ebenso wie Eintritt progressiver Bewegungen den Otolithen eine in Bezug auf ihre Unterlage entgegengesetzte Beschleunigung ertheilt. Wie unterscheidet unser Sensorium jene Empfindungen, welche durch Veränderung der Gravitationsbeschleunigungen bedingt sind und solche, welche andere Accelerationen hervorrufen? Wieso bildet es aus den einen eine Vorstellung von der Lage des Kopfes, aus den andern die einer geradlinigen Bewegung, obwohl doch der Vorgang an der Nervenendstelle, Zerrung oder Druck auf die Zellhaare in beiden Fällen identisch zu sein scheinen?

1) Mach, Bewegungsempfindungen p. 111.

Wenn ich plötzlich nach vorne bewegt werde, so erhalten meine Otolithenplatten eine relative Beschleunigung nach rückwärts. Auf der Macula sacculi, deren Wirkungsrichtung nach vorne unten verläuft, wird der vom Otolithen auf die Zellhaare ausgeübte Zug verringert, auf der Macula utriculi, die nach hinten unten verläuft, wird er vermehrt. Ganz dieselbe Veränderung im Zug, welchen die Otolithen auf die Zellhaare ausüben, tritt auch ein, wenn der Kopf nach hinten geneigt wird. Wenn wir nach vorne springen, müssten wir also glauben nach rückwärts geneigt zu werden, was doch nicht der Fall ist. Wie unterscheiden wir diese beiden äusseren Vorgänge, da doch ihre Folgen für die Otolithenmembranen dieselben sind?

Zunächst die Frage: Unterscheiden wir sie wirklich? Es gibt gewiss einen sehr häufig eintretenden Fall, wobei eine geradlinige Beschleunigung die auf unsern Kopf wirkt, als Veränderung der Neigung desselben gegen die Verticale interpretirt und als solche reflectorisch beantwortet wird. Es ist das die p. 207 besprochene Wirkung der Centrifugalkraft. Bei jeder Bewegung in einer Curve bekömmt unser Körper und in ihm die Otolithenplatten eine Beschleunigung nach der Peripherie der Curve hin, welche sich der Gravitationsbeschleunigung combinirt. Das Resultat davon für unsere Empfindung ist, dass wir die Resultante der beiden Beschleunigungen als Verticale empfinden, und im Bestreben uns senkrecht zu halten, den Körper nach dem Centrum der Curve zu neigen; eine Stellungsveränderung, welche die Bulbi allein vornehmen, auch wenn der völlig unterstützte Körper gar keine Bewegungsintention vollzieht.

Abgesehen von dem Effecte der Centrifugalkraft aber, unterscheiden wir ganz wohl zwischen translatorischer Bewegung und Lageveränderung und wohl nicht allein durch Zuhilfenahme der Empfindungen unserer Glieder. Wieso?

Wie früher (pag. 213) constatirt worden ist, steht der Beweis dafür aus, dass wir progressive Bewegungen mittelst eines im Kopfe gelegenen Organs percipiren. Aber auch wenn wir dem Vestibulum diese Function absprechen wollten (wie Delage es thut), so bliebe die Frage noch immer zu beantworten, wie wir unsere Lageempfindungen vor Fälschung bewahren, wenn eine progressive Beschleunigung auf uns wirkt.

Die Lösung scheint mir in Folgendem zu liegen: Wenn die

Gravitationswirkung des Otolithen auf die Macula durch eine Lageveränderung des Kopfes bewirkt wird, so geht mit dieser Abänderung immer auch eine Rotationsempfindung einher, da der Kopf dabei um eine Axe gedreht wird. Ebenso begleitet eine Rotationsempfindung die Abänderung der Gravitation durch die Centrifugalkraft (allerdings nicht die Empfindung jener Rotation welche die entsprechende Lageveränderung herstellen würde, sondern eine in anderer Ebene gelegene). In diesen Fällen, wenn zugleich eine Drehungsempfindung auftritt, wird die Veränderung der Angaben des Otolithenapparates als Lageveränderung interpretirt; wenn keine Rotationsempfindung sie begleitet, als progressive Bewegung.

Eine solche Abhängigkeit der Interpretation einer Empfindung von einer anderen ist durchaus kein Unicum. So gibt die Verschiebung des Bildes über die Netzhaut hin eine Bewegungsempfindung, welche auf das Object bezogen wird. Dieses wird aber als ruhend wahrgenommen, wenn zugleich mit der Bewegung des Bildes eine Innervationsempfindung von Bewegung des Auges, Kopfes oder des ganzen Körpers auftritt.

Wir halten einen Körper für ruhig, der auf die Tastfläche unserer Hand drückt, wenn wir zugleich die Empfindung haben, eine Bewegung unserer Hand zu innerviren; fehlt dieses Innervationsgefühl, wie im Tastschwindel[1]), so glauben wir der Körper bewege sich.

Mach[2]) bringt eine grosse, mit verticalen Linien versehene Papiertrommel, um eine verticale Axe drehbar, „über dem Beobachter im Rotationsapparat an. Setzen wir nun den Apparat in Drehung, so bleibt die Trommel wegen der Reibung in relativer Ruhe gegen den Apparat. Halten wir den Apparat plötzlich an, so behält die Trommel ihre Endwinkelgeschwindigkeit bei, welche sie nur allmählich verliert. Der Beobachter hält dann die bewegte Trommel für ruhend und sich selbst fühlt er in desto schnellerer Gegendrehung.“

Hier wird die aus den Ampullen stammende Rotationsempfindung auf den eigenen Körper bezogen, wenn die gesehenen Objecte ruhig scheinen, im Schwindel der gewöhnlichen Beobachtung auf die Objecte.

---

1) Purkinje, Med. Jahrb. 1830, p. 100.

2) Mach, Bewegungsempfindungen p. 86.

Es ist also keine, ohne Analogie dastehende Vermuthung, wenn wir annehmen: Veränderung des Zuges der Otolithen wird als Lageveränderung des Kopfes empfunden, wenn eine Rotationsempfindung aus den Ampullen sie begleitet, als translatorische Bewegung, wenn die Rotationsempfindung fehlt.

Wenn nun die Stellung des Kopfes gegen die Verticale und progressive Bewegung durch denselben Reizvorgang empfunden werden, so erklärt das auch die relative Stumpfheit der letztgenannten Wahrnehmung. Delage[1]) hat als Minimum der eben noch wahrgenommenen translatorischen Beschleunigung 23 cm gefunden in seiner „Schaukel ohne Drehung." Mach für Verticalbewegung 12 cm. In der gewöhnlichen Schaukel, wo eine Rotationsempfindung eintritt, werden Beschleunigungen von 8,56 cm p. 1" wahrgenommen. Um eine progressive Scheinbewegung von einiger Nachdauer zu erzeugen, musste Mach[2]) eine höchst ingeniöse Versuchsanordnung an seinem Rotationsapparat gebrauchen. Die gewöhnlich vorkommenden Abänderungen geradliniger Beschleunigungen werden zu schwach empfunden, um Nachbilder zu geben, während dies bei Rotationen so leicht geschieht. Das mag zum Theil auf der verschiedenen Construction des empfindenden Apparates beruhen; hauptsächlich aber hängt es zusammen mit der Stumpfheit unserer Empfindung für progressive Beschleunigungen. Diese aber ist nothwendig. Im Otolithenapparate schwankt bei jeder Kopfneigung um 90° der Werth der Belastung der empfindenden Membran zwischen null und dem Maximum, d. h. zwischen einer Beschleunigung von 0 und 9,8 m p. 1". Ein solcher Apparat hat sicherlich eine nicht allzuweit gesteckte untere Grenze seiner Empfindlichkeit. Es wird uns nicht Wunder nehmen, dass ein Organ, welches Beschleunigungen von 980 cm empfinden soll, ohne darunter zu leiden, solche von 23 cm eben percipirt. Rechnen wir, einer wie grossen Neigung des Kopfes gegen die Verticale eine solche Acceleration entspricht, so finden wir, dass eine Neigung z. B. nach rückwärts um 1° 25' die Gravitationsbeschleunigung der Otolithen ebenso verändert, wie eine Vorwärtsbewegung mit der Beschleunigung von 23 cm p. 1". Ich kenne keine genaue Be-

---

1) a. a. O. p. 89.

2) Mach, Bewegungsempfindungen, p. 34.

stimmung der untern Perceptionsgrenze für dauernde Kopflagen. Aber weniger als 1° 25′ dürften sicher nicht empfunden werden. Das Minimum für Perception der progressiven Bewegung und der Kopflage scheint also zusammenzufallen.

Hauptleistung, so dürfen wir annehmen, des Otolithenapparates ist die Wahrnehmung der Lage; hiefür ist er adaptirt; darum ist die Perception geradliniger Bewegung eine relativ stumpfe.

Resumé.

1. Es bestehen sicher specifische Empfindungen der Lage des Kopfes gegen die Verticale und progressiver Bewegung. Für erstere ist bewiesen, dass sie einem im Schädel gelegenen Organe entstammen.

2. Die topographische Disposition der Otolithenapparate macht es höchst wahrscheinlich, dass sie wie die Bogengänge mit der Perception räumlicher Verhältnisse zu thun haben. Ihre Structur macht wahrscheinlich, dass die Gravitation der Otolithen der wirkende Reiz ist.

3. Die Ausfallserscheinungen bei Fröschen (und Vögeln) mit zerstörtem Labyrinth und bei taubstummen Menschen beweisen, dass das Labyrinth die Wahrnehmung der Lage im Raum vermittelt, welche in den genannten Fällen vollständig fehlt, wenn durch Eintauchen in Wasser die, sonst ebenfalls orientirenden, Gravitationsempfindungen des Körpers grösstentheils eliminirt werden.

Reizversuche sind nur an Fischen (bei welchen die Bogengänge reactionslos sein sollen) mit reinem Resultat möglich (Steiner, Sewall). Bei Vögeln und Säugern ist nur möglich, mit Wahrscheinlichkeit aus dem Complex der Phänomene bei Reizung des Vestibulums, einzelne herauszuheben und auf die Otolithenapparate zu beziehen. Die „diffuse“ galvanische Reaction des Vestibulums und die Kopfverdrehung der Thiere mit verletztem Labyrinth finden ihre Erklärung durch unsere Hypothese über die Funktion der Otolithenapparate.

4) Jeder Kopfstellung entspricht beim Menschen eine bestimmte, sie charakterisirende Combination von Gravitationsintensitäten an den vier Maculis. Wenn wir annehmen, dass die Gravitation der Otolithenplatten, ihr Zug an den Zellhaaren, die

Nervenendstellen errege und dieser Reiz im Centrum die Vorstellung von der Lage des Kopfes hervorrufe, so erscheint der Säckchenapparat des Labyrinths als ein völlig geeignetes Sinnesorgan zur Perception unserer Lage im Raum. Zu dieser Annahme erscheinen wir durch die eben berührten Thatsachen berechtigt und genöthigt. Veränderungen in den Empfindungen der Otolithenmembranen, welche nicht von Rotationsempfindungen begleitet sind, rufen im Centrum die Vorstellung progressiver Bewegung hervor.

Nachdem wir so im Vestibulum ein Sinnesorgan erkannt haben, welches durch den Bogengangapparat Drehungen, durch den Otolithenapparat progressive Beschleunigungen und die Lage des Kopfes im Raum zur Wahrnehmung bringt, erlaube ich mir nochmals, für diese Perceptionsgruppe den jetzt vollständig gerechtfertigten Namen des statischen Sinnes vorzuschlagen.

VII. Kritisches.

„Ich halte es für richtiger, auf die Untersuchungen früherer Autoren einzugehen und aus ihnen die Unzulänglichkeit der Schlussfolgerungen nachzuweisen, als denselben einfach neue Beobachtungen entgegenzustellen. Dieses letztere Verfahren, wie es häufig geübt wird, führt nur halb zum Ziel. Der Verfasser überlässt es anderen, die Nutzanwendung von dem zu machen, was er gibt. Ohne Zweifel ist diese Art der Mittheilung wissenschaftlicher Beobachtungen vornehmer und viel bequemer und erspart in der Folge manche unangenehme Auseinandersetzung. Sie mag denen überlassen bleiben, die durch das Gewicht ihres Namens sich von einer Kritik der Angaben ihrer Vorgänger befreit glauben. Unter gewöhnlichen Verhältnissen halte ich es für besser, dass erst rein Haus gemacht werde, bevor man neue Dinge hineinträgt, sonst häuft sich eine solche Unmasse von Geräth an, dass sich Niemand zurecht zu finden weiss. Es liegt meiner Ansicht nach näher, dass derjenige in einer wissenschaftlichen Frage die Sorge für die Scheidung des Wahren vom Falschen übernehme, der sich selbst in sie vertieft hat. Er muss es thun, wenn er nicht auf halbem Wege stehen bleiben will. In diesem Sinne bitte ich den Leser diese Zeilen aufzufassen und in denselben nur das Bestreben zur Klärung einer dunkeln und sehr schwierigen physiologischen Frage

zu sehen. Die an manchen Stellen unvermeidlichen Wiederholungen werden ihre Entschuldigung in dem Gegenstande selbst finden."

Auf diese trefflichen Bemerkungen Prof. Böttcher's möchte ich mich, wie schon früher einmal, berufen, wenn ich den Raum dieser Zeitschrift und die Aufmerksamkeit des Lesers erbitte für eine kritische Besprechung einiger neuerer Arbeiten über den statischen Sinn und die Bogengänge. Es ist dabei durchaus keine Vollständigkeit in Berücksichtigung der Litteratur beabsichtigt; ich hebe nur drei Fragen heraus, die von Wichtigkeit für unser Problem sind: Die Existenz specifischer Lage- und Translations-Empfindung (Delage), die Folgen der Acusticusdurchschneidung und die Theorie Prof. Preyer's von der Wahrnehmung der Schallrichtung mittelst der Bogengänge.

A. Bemerkungen zu Delage-Aubert, „Physiolog. Studien über die Orientirung im Raume."

Delage wird durch seine Versuche zu dem Schlusse geführt, dass spezifische Empfindungen für Rotation beständen und durch die Bogengänge vermittelt würden; solche für die Lage des Kopfes, seine Stellung zur Verticalen und für progressive Bewegung beständen aber nicht als Wahrnehmungen eines spezifischen statischen Sinnes.

Im einzelnen differirt Delage auch bezüglich der Rotationsempfindung von Mach's und meinen Anschauungen. Ich werde aber diese Differenzpunkte hier, als nicht unser nächstes Thema berücksichtigend, nicht eingehend discutiren. Desto nothwendiger ist das bezüglich der Lage und Fortbewegung, da die auf Versuche gestützte Meinung Delage's im directen Widerspruch zu der in dieser Abhandlung vertretenen Anschauung steht. (Ich citire im Folgenden nach der Uebersetzung Aubert's.)

Delage hat gesucht zu erfahren, wie genau und mit welchen Fehlern behaftet die Wahrnehmung der Lage des Körpers ist, wenn dieser in Rückenlage auf einem, um eine frontale Horizontal-Axe drehbaren Brette, gut unterstützt, mit diesem Brett in verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale geneigt wird. Er fand, dass man bei ganz verticaler Stellung um 4°—5° nach vorne geneigt zu sein glaubt. Dieser Irrthum bleibt bei mässigen Neigungen

1) a. a. O. S. 41 ff.

nach rückwärts bestehen, bis er zwischen 50° und 60° verschwindet. Von da an werden die Neigungen in zunehmendem Maasse überschätzt. (Aubert hat viel mehr schwankende Angaben erhalten.)

Nach diesen Bestimmungen Delage's wäre die Beurtheilung der Neigung bis zu 60° sehr genau, ja genauer als Delage selbst meint. Denn die Empfindung, bei verticaler Stellung um einige Grade vorgeneigt zu sein, ist kein Irrthum, sondern unter den angegebenen Versuchsbedingungen eine richtige Perception. — Wenn sich ein normal gebauter Mensch an eine senkrechte Wand stellt, so dass er in normaler aufrechter Haltung die Wand mit den Schulterblättern berührt, so stehen seine Fersen einige Centimeter vor der Wand. Stellt man die Füsse soweit zurück, dass auch die Fersen die Wand berühren, so fühlt man deutlich, dass die Schwerlinien an den Füssen weiter nach vorne fallen als normal, dass man etwas nach vorne geneigt ist, wie ja auch wirklich der Fall. Genau so ist die Stellung auf dem vertical gestellten Brett bei Delage, welches mit Fersen und Schulterblättern berührt wird, wie Delage selbst bemerkt. Jene Angabe, um 4°—5° vorgeneigt zu sein, ist also kein Irrthum, da die Versuchsperson die Neigung ihres Körpers und nicht die Stellung des Brettes zu beurtheilen hat.

Wir könnten also aus Delage's Tabelle schliessen, dass die Perception der Lage für Neigungen nach rückwärts bis zu 60° sehr genau ist. Für grössere Neigungen und besonders solche, wobei der Kopf tiefer steht als die Füsse, werden die Schätzungen übergross, wie bei der völligen Ungewohntheit solcher abnormen Stellungen begreiflich. — Für Neigungen des Körpers um seine sagittale Axe gibt Delage keine genauen Bestimmungen.

Wenden wir uns jetzt den „Täuschungen bezüglich der Richtung im Raume" zu, welche bei Delage die Grundlage und den Ausgangspunkt der Untersuchung bilden. Die Versuchsanordnung ist folgende[1]):

„Die Versuchsperson stellt sich an eine bestimmte, z. B. westöstlich gerichtete Wand ... und blickt vor sich hin gegen Norden auf ein Object A, welches ihr als Merkmal dient. Verbindet man ihr die Augen, so bewahrt sie eine genaue Vorstellung von den Richtungen. Gibt man ihr einen langen Stab in die Hände und heisst sie denselben nach A richten, so thut sie es ohne merklichen Fehler. Sie

1) a. a. O. S. 17.

kann ebenso den Stab vertical oder horizontal in der medianen Ebene halten oder horizontal in einer der frontalen Ebene parallelen Richtung." Bei Drehungen des Kopfes treten nun Täuschungen auf und zwar

a) bei Drehung des Kopfes um die verticale Axe wird das gerade gegenüberliegende Zeichen A constant in einer um 15° abweichenden Richtung gesucht und zwar im entgegengesetzten Sinne der Kopfwendung. Man kann aber auch eine andere Illusion haben nämlich die, dass der Körper um etwa 15° in demselben Sinne, wie der Kopf gedreht worden ist. Dann wird ein Stab, den man rechtwinklig gegen die Brust zu stellen sucht, um etwa 15° in demselben Sinne wie der Kopf abweichend gehalten, das Merkzeichen A im äusseren Raume aber ohne merklichen Fehler getroffen. — Ich (Br.) bemerke hier gleich, dass ich diese letztere Täuschung nicht beurtheilen kann, weil ich sie nie empfunden habe, wenn der Oberkörper nicht (was leicht geschieht) wirklich im selben Sinne wie der Kopf verdreht war.

b) Täuschungen bei Drehung des Kopfes um seine Queraxe.

Wenn die Versuchsperson den Kopf nach vorne gegen die Brust neigt, so hält sie den Stab nach hinten geneigt (um etwa 15°), wenn sie ihn vertical zu halten glaubt; sie neigt ihn um ebensoviel nach vorne, wenn sie den Kopf nach rückwärts biegt. Dies gilt von allen Richtungen der Medianebene.

Eine Uebertragung dieser Täuschung vom äusseren Raume auf den eigenen Körper ist nur möglich, wenn man sich mit den Händen an einem horizontalen hölzernen Barren aufhängt. „Ist dann der Kopf gerade, so scheint auch der Körper senkrecht zu sein, — ist der Kopf nach vorn gebeugt, so scheint der Körper nach vorne, ist er nach hinten übergebeugt, so scheint der Körper schräg nach hinten abzuweichen, als ob er in einem gewissen Grade der Bewegung des Kopfes gefolgt wäre.

c) Täuschungen bei Neigung des Kopfes um seine sagittale Axe.

Wenn der Kopf nach der einen oder andern Schulter geneigt ist, so sind alle von der Versuchsperson angegebenen Richtungen in der frontalen Ebene falsch und weichen von der wahren Richtung etwa 15° in umgekehrtem Sinne wie der Kopf ab. — Hängt man sich mit den Händen an eine horizontale Stange und zieht zweckmässiger Weise die Arme an, so hält man, wenn man den Kopf nach

der einen Schulter neigt, seinen Körper für schief, als ob er um etwa 15° dieselbe Bewegung gemacht hätte.

Delage fügt hinzu, „diese Angaben gälten nicht nur für die aufrechte Stellung des Körpers, sondern auch für die horizontale und für die schrägen Stellungen, für alle die verschiedenen Verhältnisse des Liegens, Sitzens, Knieens u. s. w.". Aubert bestätigt die Versuchsresultate von Delage vollkommen.

Es fällt mir daher einermaassen schwer, nach meinen (vielfachen) Erfahrungen einige Vorbehalte machen zu müssen. Ich finde die Richtungstäuschung constant so wie Delage, bei Neigungen des Kopfes nach vorne-hinten und rechts-links und aufrechter Stellung des Körpers; aber völlig inconstant bei Drehung des Kopfes um seine Verticalaxe.

Indem Delage für diese Täuschungen eine Erklärung sucht, erwägt er die Möglichkeit, dass das innere Ohr als Organ des statischen Sinnes an der Beurtheilung der Richtung betheiligt sei; hält aber jede derartige Erklärung der fraglichen Illusionen für unmöglich, da sie bei der Drehung des Kopfes um eine Verticalaxe völlig versage. Nach Ablehnung anderer Erklärungsmöglichkeiten entwickelt Delage seine Meinung in folgender Weise.

Er beruft sich auf die oben (S. 204) besprochene Beobachtung, dass bei Drehung des Kopfes um seine Verticalaxe die Augen sich im selben Sinne drehen und der Blick also in Summe um den Winkel der Kopfwendung mehr der Augenablenkung nach der Seite gewendet ist. Die Richtung des Blickes werde nun maassgebend für die Schätzung der vollzogenen Drehung, und da die Empfindung der gegenseitigen Stellung von Kopf und Körper den richtigen Winkel angebe, werde jenes Plus in den äussern Raum verlegt und dieser weiter nach der andern Seite gedreht vorgestellt, oder geglaubt, der Körper sei im selben Sinne wie der Kopf gewendet.

Betreffs der Neigung des Kopfes um eine sagittale und frontale Axe sagt Delage:

„Die Hebung und Senkung der Augen bringt dieselben Resultate hervor, aber weniger auffallend, ohne Zweifel, weil diese Bewegungen selten in einem so grossen Umfange erfolgen."

„Was die Täuschungen bei Drehung des Kopfes um seine sagittale Axe betrifft, so lässt sich auf sie ganz die nämliche Erklärung anwenden. Sie rührt jedenfalls davon her, dass wir wie

in den anderen Fällen urtheilen, unser Kopf sei stärker geneigt, als er es in der That ist; ich habe mich durch den Versuch davon überzeugt. Aber die Ursache dieser falschen Auffassung darf nicht in einem Uebermasse der Augenverdrehung gesucht werden, weil im Gegentheil diese die Drehung des Kopfes nur in einem kleinen Theil compensirt. Ich gestehe, dass ich die Ursache nicht finden kann." (Also lässt sich die nämliche Erklärung ganz und gar nicht darauf anwenden. Br.)

Bei dem (dann aufgegebenen) Versuche, die beschriebenen Täuschungen mit Hülfe der Annahme vom statischen Sinne des Labyrinths zu erklären, denkt Delage nicht an die in dieser Abhandlung dargelegte Leistung der Otolithen, sondern nur an die Möglichkeit, dass im Sinne von Goltz die Unterschiede im Druck der Endolymphe auf die Labyrinthwand empfunden würden. Dieser Unterschied in der Vorstellung von der Wirkungsweise des Apparates ist aber für den jetzt zu besprechenden Gegenstand nicht wesentlich. Delage's Hauptargument besteht darin, dass durch die Drehung des Kopfes um die Verticalaxe die Angaben eines die Gravitation empfindenden Apparates nicht abgeändert werden können, wie man sich sein Functioniren auch vorstellen möge, — und dass dabei doch die beschriebenen Täuschungen auftreten. — Das ist vollständig richtig. Wenn ich bei aufrechter Kopfhaltung die Augen schliesse, so kann mir der statische Sinn nichts leisten als die Angabe, die Verticalaxe des Kopfes stehe wirklich vertical, womit auch die Horizontalebene gegeben wird. Meine Vorstellungen von den verschiedenen Richtungen innerhalb der Horizontalebene hängen mit den Daten des statischen Sinnes nicht zusammen; es ist dergleichen auch nie behauptet worden. (Die Erörterung, ob und in welcher Weise der statische Sinn Antheil hatte an der Ausbildung des Raumbildes, würde uns alsbald in die empiristisch-nativistische Debatte führen und gehört offenbar nicht hierher.) Der Umstand, dass die Vorstellung von den Richtungen innerhalb der Horizontalebene abgeändert wird, beweist durchaus nicht, dass diese Horizontalebene selbst nicht durch die Angaben des Labyrinths bestimmt wird. Das zu schliessen wäre nur erlaubt, wenn die Vorstellung von der Horizontalebene selbst abgeändert würde durch Veränderungen, welche, wie die Drehung um die Verticalaxe, die Angaben des Labyrinths nicht tangiren. Dies aber geschieht eben nicht; die Vorstellung von der Horizontalebene

bleibt richtig, nur in ihr sollen die Richtungen falsch geschätzt werden. Wir werden also allerdings für die fragliche Täuschung eine Erklärung ausserhalb des statischen Sinnes zu suchen haben; das aber, was unsere Theorie für diesen beansprucht, wird hiervon gar nicht berührt.

Anders verhält es sich mit den Täuschungen bei Kopfneigungen. Da wird die Verticale falsch angegeben; wir erwarten vom statischen Sinne aber eben die Bestimmung des Winkels, welchen die morphologische Verticalaxe des Kopfes mit der Senkrechten einschliesst. Es scheinen also die von Delage aufgedeckten Täuschungen zu zeigen, dass durch die Kopfneigung eben jene Empfindungen verfälscht werden, welche wir unserem Sinnesorgane zuschreiben und ihre Untersuchung ist also wirklich von fundamentaler Wichtigkeit für die Lehre vom statischen Sinne.

Fragen wir zunächst, ob die Ueberschätzung des Winkels, welche die „verticale" Kopfaxe mit der Senkrechten einschliesst, nur eintritt, wenn die Kopfneigung in den Halsgelenken vollzogen wird, oder ob sie auch erscheint, wenn Kopf und Körper schief gestellt werden. Um dieses zu beantworten, müssen wir die Bestimmungen der Körperneigung zum Vergleiche heranziehen, welche oben (S. 271) besprochen wurden. Wir besitzen solche aber nur für die Rückwärtsneigung und da lauten die Angaben der Tabellen Delage's und Aubert's sehr verschieden. Nach Delage empfinden wir den Neigungswinkel bis zu 60° sehr genau und geben auf dem geneigten Brette liegend die Verticale genau an; jene Täuschung bei Kopfbeugung in den Halsgelenken müsste also speciell von dieser Action abhängen oder irgend einem dabei eintretenden Nebenumstande.

Aubert's Schätzungen des Neigungswinkels sind dagegen fast alle übergross und hiernach könnte es sein, dass wir es mit einem constanten Fehler der die Neigung beurtheilenden Sinne zu thun haben, welcher allein schon zur Erklärung der fraglichen Irrthümer hinreichen würde. Ich nehme aber hier an, dass die Bestimmungen von Delage richtig sind und wir haben zu untersuchen, warum die Kopfneigung falsch geschätzt wird, wenn sie in den Halsgelenken vollzogen wurde.

Die Argumentation von Delage lässt sich wohl so zusammenfassen: Die Täuschungen sind bei Drehung des Kopfes um die verticale und um die horizontalen Axen völlig analog. Man muss

darum auch eine einheitliche Erklärung für alle drei Fälle suchen. Bei Seitenwendung des Kopfes (um die Verticalaxe) kann das Labyrinth unmöglich an der Illusion betheiligt sein; man kann daher auch nicht für die Neigungen gelten lassen, dass die Ueberschätzung derselben durch einen Fehler eines im Labyrinth sitzenden Organs bedingt sei. Wenn aber die Fehler einer Wahrnehmung nicht von dem supponirten Organ derselben abhängen, so entsteht die Wahrnehmung selbst auch nicht in demselben.

Das steht bei Delage nirgend so präcise beisammen. Ich bin aber gezwungen, zum Zweck der Discussion seiner Gründe sie logisch zu condensiren und glaube das im Sinne des Autors gethan zu haben.

Was nun zunächst die Analogie der drei Phänomene betrifft, so muss ich wiederholen, dass die Täuschung bei Wendung des Kopfes um die Verticalaxe unconstant ist, dass man sehr viele Individuen trifft, bei denen sie gar nicht oder im entgegengesetzten Sinne erscheint, dass sie bei derselben Versuchsperson von einem zum anderen Versuche wechselt, während die Ueberschätzung der Neigungen durchaus constant ist, bis die Versuchsperson nach häufiger Wiederholung gelernt hat, sie auszugleichen und zu vermeiden. (Dies ist jetzt bei mir der Fall.) Eine identische Erklärung der Täuschung ist daher nicht nöthig und sie ist auch kaum möglich. Mindestens werden wir noch weiter sehen, wie vollständig Delage selbst der Versuch misslungen ist.

Schliesslich kann eine Wahrnehmung, die auf einer Sinnesempfindung beruht, abgeändert werden durch Nebenumstände, welche mit dem betreffenden Sinnesorgan nichts zu thun haben, z. B. wenn ich die Grösse eines gesehenen Objectes falsch schätze, weil ich über seine Distanz im Irrthum bin.

Betrachten wir nun die Erklärung, welche Delage selbst für die von ihm entdeckten Erscheinungen giebt. Den Irrthum bei Seitenwendung des Kopfes erklärt er, wie oben gesagt, damit, dass dieselbe nach der wirklichen Drehung des Kopfes plus der synergisch damit erfolgenden, gleichgerichteten lateralen Augendrehung bemessen werde[1]. Ich habe oben (S. 204) schon ausgeführt, dass

[1] Delage schreibt mir die Meinung zu, man messe überhaupt die Kopfdrehung nach den reflectorischen, compensirenden Augenbewegungen, zu welchen dann am Schluss noch die oben beschriebene, ergänzende Weiter-

eine solche ergänzende Blickwendung nur erfolgt, wenn die Kopfwendung mit der Intention geschieht, seitwärts zu schauen. (In solchem Falle fehlen übrigens die compensirenden Augenbewegungen; die Bulbi gehen in einem Zuge nach der Seite.) Delage selbst giebt nun aber auch Folgendes an (S. 28): „Wenn wir, anstatt den Kopf z. B. nach rechts zu wenden, den Körper nach links wenden und dabei den Kopf unbeweglich halten, so wird das Endresultat nicht geändert, die Täuschung entsteht in eben derselben Weise....“ Hierbei kann von einer die Kopfwendung ergänzenden Blickwendung nicht die Rede sein und doch entsteht dabei nach Delage das fragliche Phänomen. — Wenn aber auch die Ueberschätzung der Wendung constant und die gleichgerichtete Augendrehung immer vorhanden wäre, wie es nicht der Fall ist, so ist doch sicher, dass diese Erklärung auf die Kopfneigung durchaus nicht übertragen werden kann.

Für die Vor- und Rückwärtsneigung des Kopfes sagt zwar Delage (S. 35): „Die Hebung und Senkung der Augen bringt dieselben Resultate hervor, aber weniger auffallend, ohne Zweifel, weil diese Bewegungen selten in einem so grossen Umfange erfolgen.“ Er scheint also anzunehmen, dass auch bei diesen Kopfneigungen eine ähnliche Blickwendung erfolgt. Das ist aber ganz sicher nicht der Fall, wenn nicht geradezu die Intention besteht, z. B. nach der Zimmerdecke zu schauen. Im Gegentheil bringt die Vor- und Rückwärtsneigung des Kopfes immer die compensirende Augenhebung und -Senkung hervor mit dem Erfolg, das Gesichtsfeld festzuhalten. Für die Neigungen auf dem Zapfenbrett giebt Delage selbst an (S. 46): „Je mehr sich das Brett (auf dem die Versuchsperson liegt) der Senkrechten nähert, um so mehr hebt sich der Blick und bei völlig verticaler Lage“ (Vorwärtsneigung der Versuchsperson Br.) „ist er über den Horizont gerichtet, aber nur um wenige Grade. Umgekehrt, wenn das Brett nach hinten neigt, senkt sich der Blick.“

Vollends bei der Frontalneigung auf die Schulter kann nur von der compensirenden Raddrehung die Rede sein, wie auch Delage angiebt.

drehung komme. Dies war und ist nicht meine Meinung. Ich finde keinen Grund für die Annahme, dass wir eine sensible Veränderung, wie hier die Reizung der Ampullen, nicht direct, sondern erst aus ihren reflectorischen Folgen wahrnehmen und bemessen sollten.

Wenn nun die Seitenwendung des Kopfes überschätzt würde, weil sich das Auge im selben Sinne weiterdreht, so müssten die Neigungen unterschätzt werden, weil sich die Bulbi in entgegengesetztem Sinne bewegen, und wenn die letzteren bemessen werden nach der realen Drehung des Kopfes mehr der compensirenden Augendrehung, so müsste die Seitenwendung unterschätzt werden, was eben beides nicht geschieht.

Eine Erklärung aber, die zugestandenermaassen auf einen von drei Fällen (die Frontalneigung) keine Anwendung erlaubt und bezüglich der anderen zwei Fälle wieder nur auf einen von ihnen passen kann — müssen wir wohl fallen lassen.

Versuchen wir nun eine andere Erklärung für die constanten Ueberschätzungen der Neigung zu finden, so müssen wir uns zunächst die Aufgabe näher betrachten, die wir den Versuchspersonen stellen. Sie sieht sehr einfach aus, ist aber in Wirklichkeit sehr complicirt. Durch die Neigung des Kopfes werden mehrfache Abänderungen des normalen Verhaltens eingeführt, welche bei Lösung der Aufgabe, die Verticale oder Horizontale anzugeben, in Rechnung gezogen werden müssen. So sind beim aufrecht stehenden Menschen die Schwerpunkte der Körpersegmente in verticaler Linie über einander gereiht. Bei Neigung des Kopfes, welche den Schwerpunkt desselben aus der normalen Schwerlinie herausverlegt, muss der Rumpf nach der entgegengesetzten Richtung verschoben werden, um das Gleichgewicht zu wahren. Andererseits ist es sehr schwierig, den Kopf stark auf die Seite zu neigen, ohne den Schultergürtel ebenfalls zu verschieben. Alle solche Veränderungen werden leicht übercompensirt, und das Benehmen der Versuchspersonen deutet sehr auf Uebercompensationen. Sie verstärken die Abweichung von der richtigen Horizontalen oder Verticalen, je mehr man sie zu genauer Lösung der Aufgabe ermahnt.

Für die Falschschätzung horizontaler Richtungen bei Seitenwendung des Kopfes, welche nach Delage constanter sein soll, als ich sie finden konnte und zwar gerade bei Personen, welche, wie Zimmerleute, im Schätzen von Winkeln geübt sind, mag ein anderer Umstand Einfluss haben. Wir nehmen als Ausgangspunkt für unsere Richtungsbestimmungen den Nasensattel, als Mittelpunkt des Doppelauges oder wenn wir mit nur einem Auge sehen, dieses. Bei der Seitenwendung des Kopfes, z. B. nach rechts, werden mit der Vorderfläche des Gesichtes diese Richtpunkte nicht unbedeu-

tend, um etwa 8 cm, nach rechts verschoben und eben wer in Richtungsbestimmungen geübt ist, sucht dies in Rechnung zu ziehen. Daraus ergiebt sich durch Uebercompensation eine Verschiebung der geschätzten Richtungen nach links.

Dass auch Augenbewegungen im Sinne von Delage die Schätzung horizontaler Richtungen beirren können, ist wohl möglich und wahrscheinlich. Aber gerade in den Versuchen, die Delage hierfür beibringt (S. 34, 38), ist von starker Augenwendung nach der Seite die Rede. Bei solcher schwindet die Proportionalität zwischen der Innervationsanstrengung und der erzielten Blickwendung. Wir überschätzen dabei die letztere, wie im „Gräfe'schen Versuch" bei Externuslähmung. Das sind ganz andere Verhältnisse, als jene bei der angesprochenen, die Kopfdrehung ergänzenden Blickwendung um 15°.

All das aber bietet doch keine geeignete Erklärung für die Constanz und relative Grösse der Täuschungen; man sucht ihren Grund doch immer wieder in den Perceptionen selbst.

Wenn wir nun an die Prüfung der einzelnen Empfindungselemente gehen, welche unsern Richtungsschätzungen bei Kopfdrehungen zu Grunde liegen, so ist die erste Frage die: Wie beurtheilen wir die gegenseitige Verschiebung unserer Körpertheile? also hier den Winkel, um welchen unser Kopf gegen den Rumpf verdreht worden ist? Wir setzen gewöhnlich voraus, dass wir die gegenseitige Stellung unserer Körpertheile fehlerlos schätzen auf Grund der Empfindungen von Muskeln, Sehnen, Gelenken und Haut. Wir sind erstaunt zu sehen, wie grosse Fehler der Versuch erweist; die grössten natürlich bei den seltener vollzogenen Stellungsveränderungen.

Der sehr einfache Versuch besteht darin, dass die Versuchsperson durch einen leichten Nadelstich, Reiben oder dgl. an der Nasenspitze oder Stirne sich eine lebhafte Empfindung dieser Hautstelle verschafft und nun mit der Spitze des Zeigefingers diese Stelle zu treffen sucht. Das gelingt bei normaler Kopfhaltung fast ohne Fehler. Dagegen bei Kopfdrehungen wird der Drehungswinkel sehr bedeutend unterschätzt, wenn die vollzogene Drehung eine Zeit festgehalten worden ist; man irrt mit dem Finger immer gegen die Normalstellung des Kopfes zu. Dies geschieht constant und in hohem Maasse bei den Drehungen des

Kopfes um seine sagittale und frontale Axe[1]: nicht immer und in geringerem Ausmaasse bei Drehung um die Verticalaxe. Man kann die Versuche nicht lange mit demselben Erfolge fortsetzen; die Versuchspersonen lernen rasch den Fehler vermeiden durch bewusste Correction: dies ist wohl auch der Grund für den Unterschied zwischen den verschiedenen Kopfdrehungen. Die Drehung um die Verticalaxe wird so häufig vollzogen und immer durch optische Eindrücke controllirt, dass die Falschschätzung der Gelenkverschiebungen zum grossen Theile corrigirt ist.

Es ist nun klar, dass eine solche Unterschätzung des Winkels der Kopfdrehung für sich allein im Delage'schen Versuch zur Folge haben müsste, dass wir die Richtungen nach der Seite der Kopfdrehung hin falsch schätzen, also z. B. bei Neigung des Kopfes auf die rechte Schulter die Verticale oben nach rechts abweichend angeben würden; also gerade das Gegentheil dessen was wirklich geschieht.

Nicht so, wenn eine andere Empfindung uns das richtige Ausmaass der Drehung angibt. Machen wir uns das zunächst für die Kopfneigungen klar.



In dem nebenstehenden Schema gibt die Linie R die Rumpfaxe, K die Verticalaxe des geneigten Kopfes an, welche in der Normalhaltung den Winkel von 180°, jetzt α bilden. Da die vollzogene Drehung unterschätzt wird, so wird α zu gross geschätzt, die Axe des Kopfes nach K' verlegt. Besitzen wir nun ein Organ, welches uns den wahren Betrag jenes Winkels angibt, den unsere Kopfaxe mit der senkrechten V einschliesst (β), so müssen wir diese letztere nach V' verlegen, d. h. im entgegengesetzten Sinne der Kopfdrehung geneigt angeben.

Ist R nicht durch die Thatsache, dass wir aufrechtstehen, für unsere Empfindung als senkrecht festgelegt, wie das „im Hang am Reck" der Fall ist, so muss die Unterschätzung der Kopfdrehung,

1) Ebenso constatirt Aubert (p. 346), dass er bei Seitenneigung des Kopfes in der Schätzung des Drehungswinkels nicht bedeutend fehle; bei anhaltender Neigung des Kopfes verblasse aber die Erinnerung an die Drehung. Die andauernde Neigung wird unterschätzt.

d. i. die Ueberschätzung des Winkels α, zur Folge haben, dass R, die Rumpfaxe, im selben Sinne wie der Kopf geneigt empfunden wird. Unter der Voraussetzung nämlich, dass eine im Kopfe entstehende Empfindung uns den Winkel β angebe, welchen die Verticalaxe des Kopfes mit der Senkrechten einschliesst.

Es ist einleuchtend; dass die früher besprochenen Uebercompensationen, ebenso wie eine constante Ueberschätzung des Winkels β (wenn ein solcher Fehler des empfindenden Apparats wirklich besteht) im selben Sinne wirken müssen, wie die Unterschätzung der Kopfdrehung.

Diese letztere ist, wie gesagt, keine Annahme, sondern eine Thatsache; sie erklärt von den drei Täuschungen Delage's die zwei, auf die horizontalen Kopfaxen bezüglichen vollständig, unter der Voraussetzung der Theorie vom statischen Sinne: dass ein im Kopfe gelegenes Organ uns die Neigung des Kopfes gegen die Senkrechte angebe.

Ich finde, wie bemerkt, die Richtungstäuschung bei Kopfwendung um die Verticalaxe nicht constant. Sie kömmt aber doch so häufig zur Beobachtung, dass man auch für diese Erscheinung eine Erklärung suchen muss. Eine solche wird auch von der Unterschätzung des Drehungswinkels gegeben, wenn eine andere Empfindung den richtigen Betrag desselben angibt. Wenn wir z. B. einmal bemerken, dass wir den Kopf um 45° nach rechts drehen und dann diese Drehung nur im Betrag von 30° empfinden, so muss uns dies die von Delage geschilderte Illusion verschaffen, unser Körper habe sich dem Kopfe um 15° nachgedreht. Oder — wir haben einmal empfunden, dass die Sagittalebene des Kopfes sich um 45° nach rechts gedreht hat, von der Ausgangsebene aus, der Medianebene des Körpers, in welcher das Merkzeichen A liegt, nach dem wir den Stab richten sollen; wir empfinden den Kopf jetzt nur um 30° verdreht und verlegen also die Ausgangsebene und das Object A um 15° nach links. — Wenn wir den Kopf in seiner Stellung festhalten und den Körper nach links wenden, kann das nichts am Erfolge ändern. Wir empfinden auch dann den Drehungswinkel kleiner als er ist, und verlegen die Sagittalebene des Kopfes, in welcher das Merkzeichen liegt, nach links. Diese Täuschung braucht zu ihrer Erklärung nicht einmal das concurrirende Bewusstsein des ganzen Drehungsbetrages.

Somit wäre auch die Richtungstäuschung bei Kopfwendung

erklärt. Aber welches ist die von dieser Erklärung geforderte Empfindung, welche die Drehung im richtigen vollen Betrag angeben soll?

Wir empfinden die Kopfdrehung mit zweierlei Organen: mit den Bogengang-Ampullen und mit den Empfindungsnerven der Gelenke, Muskeln u. s. f. Die Ampullen scheinen kurze Drehungen die 90° nicht überschreiten im vollen Betrage zu empfinden; aber ich halte für sehr wahrscheinlich, dass auch die Gelenkempfindungen während der Rotation richtig sind und erst die Empfindung der dauernden Verdrehung abnimmt[1]).

Delage hat selbst an eine Mitwirkung des „Sinnengedächtnisses" gedacht (S. 27), dass nämlich der horizontale Bogengang die vollzogene Drehung empfinde. Da er die Unterschätzung der dauernden Verdrehung des Kopfes nicht einbezieht, so genügt ihm jene einmalige richtige Bemessung der Wendung nicht zur Erklärung der Täuschung und er glaubt sie durch den Versuch mit Drehung des Körpers bei festgehaltenem Kopfe vollends widerlegt zu haben. Wir sahen aber, dass gerade für diese Anordnung des Versuchs eine richtige Bemessung der Drehung für den Irrthum gar nicht nöthig ist.

Soweit also die Illusion bei Kopfwendung um die Verticalaxe wirklich besteht, erlaubt sie eine analoge Erklärung, wie die bei Kopfneigung eintretenden, aus der Unterschätzung der gegenseitigen

---

1) Delage theilt einen Versuch mit, welcher beweist, dass die Bemessung der Augenbewegungen sich wirklich so verhält. „. . In einem cylindrischen Gehäuse von Papier, auf dessen Wänden verticale, gleich weit von einander entfernte Linien gezogen sind, markirt man durch ein kleines, wenig sichtbares Zeichen jene Linie, welche genau der Brust gegenüber liegt. Wenn man dann die Augen nach der einen Seite wendet und dann die vorher markirte Linie wieder zu finden sucht, irrt man sich immer um etwa 15°, indem man sie auf der Seite sucht, nach welcher die Augen hingewendet worden sind. — Delage meint, der Irrthum rühre daher, „dass ein Theil der von den Augen bewirkten Drehung dem Kopfe zugeschrieben wird." Aber warum sollte dies bei der Rückdrehung nicht wieder eingebracht werden? Ich glaube, die richtige Erklärung liegt darin, dass die dauernde Verdrehung des Auges unterschätzt wird und die Rückdrehung nur in diesem Betrage stattfindet. Da wir nun annehmen dürfen, dass die Augenbewegungen selbst im vollen Betrag empfunden werden, so besteht hier dasselbe Verhältniss, welches wir oben für die Drehung in Gelenken annehmen.

Verdrehung von Kopf und Rumpf bei richtiger Bemessung der vollzogenen Drehbewegung. Sie ist nicht so constant wie die Täuschung bei Neigungen, weil erstens die Unterschätzung der Kopfwendung geringer ist als die der Drehung um die Horizontalaxen, und zweitens, weil die Erinnerung an die vollzogene Kopfwendung weniger zwingend ist als die constant wirkende Empfindung von der Lage des Kopfes zur Senkrechten, welche wir bei den Neigungen als mitwirkend betrachten.

Man könnte aber zur Noth auch für die Neigungen mit denselben Factoren auskommen, welche für die Kopfwendung in Anspruch genommen worden sind. Ich kann daher die Versuche Delage's nicht geradezu als Beweise für die Existenz der Gravitationsempfindung des statischen Sinnes anführen. Wohl aber glaube ich gezeigt zu haben, dass die „Augentheorie“ von Delage die Phänomene nicht erklärt; dass die Thatsache der Unterschätzung der Verdrehung dieses leistet; dass diese Erklärung die Annahme eines statischen Sinnesorganes im Kopfe nicht ausschliesst, sondern im Gegentheil sehr wahrscheinlich macht.

Ich übergehe die Ausführungen von Delage über die Rotationsempfindungen, die er wie Mach, Brown und ich den Bogengängen zuschreibt und wende mich zum Cap. VIII S. 75: „Dynamische Empfindungen und Täuschungen bei Fortbewegung“ (progressiver Bewegung).

Delage gehört zu denjenigen, die bei den gewöhnlichen Beschleunigungen auf Eisenbahnen auch während des Anfahrens und Anhaltens die Vorstellung von der Fahrtrichtung beliebig invertiren können. Bei sehr plötzlichem Anhalten eines raschen Zuges hatte er aber einmal ganz spontan „die Empfindung einer Umkehr der Bewegungsrichtung“ (d. h. wohl die Empfindung einer, der wirklichen entgegengesetzten Bewegung). — Er machte einen sehr interessanten Versuch in folgender Weise: „Ich liess ein kleines, äusserst leichtes und gleichmässiges Boot bauen, gross genug, um darin liegen zu können. Dieses Boot war vorne an einer elastischen Schnur von Kautschukröhren befestigt. Es glitt auf dem vollkommen ruhigen Wasser des Teiches der Station zu Roscoff und durchlief mit schneller Vorwärtsbewegung eine Strecke von beinahe 30 Meter. Das Boot wurde durch ein kurzes Tau festgehalten, die elastische Schnur stark gespannt, dann das Tau durchschnitten. — Ich (Delage) habe festgestellt, dass man nach dem

Stosse bei der Abfahrt keine Fortbewegung empfindet bis zur Ankunft und man glaubt auf ein und derselben Stelle durch die kleinen unvermeidlichen Schwankungen des Schlingerns geschaukelt zu werden. Das Erstaunen ist gross, wenn man sich erhebt, zu finden, dass man eine Strecke von beinahe 30 Meter zurückgelegt hat, ohne etwas davon gemerkt zu haben. Und doch dauert die positive Beschleunigung eine sehr merkliche Zeit und wird dann während noch viel längerer Zeit negativ.“

Bei diesem Versuche fehlen alle Grundlagen einer genaueren Discussion; es hängt von Stärke und Spannung der Kautschukröhren ab, ob nach dem explosiven Stosse der Abfahrt überhaupt noch einige Zeit positive Beschleunigungen erfolgen und wie gross diese sind. Die negativen Beschleunigungen hingegen bestehen natürlich, liegen aber wohl unter der Schwelle der, wie schon constatirt, stumpfen Perception.

Delage wendet sich dann zu Versuchen in der Schaukel, mit allen Cautelen, die gewissenhafter Scharfsinn erfinden kann; dabei zeigt sich, dass die Bewegungen mit grosser Feinheit wahrgenommen werden. Es wird aber wahrscheinlich, dass es wesentlich die Rotation in verticaler Ebene ist, die so fein empfunden wird und nicht die damit verbundene Fortbewegung. Delage (p. 88) construirte nun eine „Schaukel ohne Drehung“, in welcher „die Versuchsperson allerdings eine gekrümmte Wurflinie durchläuft, aber so, dass sie immer parallel zu sich bleibt. Sie ist also von einer reinen Fortbewegung ergriffen.“ Hierbei zeigt sich, dass Schwingungen eben noch empfunden werden, deren Beschleunigungsmaximum ungefähr 23 cm entspricht. (In der gewöhnlichen Schaukel werden Schwingungen empfunden, deren Beschleunigungsmaximum 8,56 cm beträgt; die Perception ist da also etwa um das dreifache schärfer.)

Bezüglich der Täuschungen über die Richtung der Bewegung, welche durch Kopfdrehungen erzeugt werden, besteht aber ein Unterschied zwischen den Drehbewegungen und den reinen Fortbewegungen, auf welche Delage den Satz gründet: „Der Sitz der Translationsempfindungen sei nicht im Kopfe, folglich nicht im innern Ohre.“ Wir müssen also näher darauf eingehen.

Einen Theil der Ausführungen Delage's kann ich nur für ein reines Missverständniss halten. Ich citire wörtlich: „Jede Fortbewegung des Kopfes muss zu einem Druck (der Endolymphe) auf

die entgegengesetzte Seite des Organes Anlass geben; und umgekehrt muss jeder Druck auf die Wand eine Empfindung der Fortbewegung in entgegengesetztem Sinne hervorrufen. Wenn wir nach vorwärts bewegt werden, während der Kopf nach rechts gewendet ist, so entsteht der Druck auf der rechten Wand des Organes und wir müssten die Empfindung der Fortbewegung nach links hin bekommen. Desgleichen müsste die Fortbewegung nach vorwärts mit gesenktem Kopfe die Empfindung einer ansteigenden Bewegung u. s. w. geben. Kurz wir müssten, wie bei den Drehbewegungen, die Empfindung einer Ablenkung der Wurflinie in entgegengesetztem Sinne wie der Kopf haben. Aber der Versuch hat gezeigt, dass das nicht der Fall ist. Daher der Schluss, dass der Sitz der Empfindungen nicht im Utriculus ist."

Mir scheint ganz klar, dass eine solche Empfindung einer Ablenkung der Trajectorie nur dann entstehen würde und müsste, wenn wir von der Kopfwendung, die wir vollziehen, kein Bewusstsein hätten oder wenn wir nicht die Frage nach der Stellung der Trajectorie in Bezug auf unsern Körper, sondern in Bezug auf unsern Kopf beantworten wollten; in welchem Falle die Benennung der Axe aber keine falsche, sondern völlig richtig wäre. Nachdem wir aber ganz genau wissen, dass wir den Kopf nach rechts gewendet halten, ist die Deduction hinfällig.

Bei den Drehbewegungen tritt nach Delage eine solche Täuschung aber doch ein; wie ist es nun damit? Die Phänomene werden in folgender Weise beschrieben:

S. 56: „Wenn a) während Drehbewegung um die verticale Körperaxe der Kopf durch Drehung um seine sagittale Axe auf die rechte Schulter geneigt ist, so erscheint die Drehungsaxe nicht mehr vertical, sie scheint um etwa 25° nach links geneigt. Liegt der Kopf auf der linken Schulter, so scheint die Axe schief nach rechts zu liegen. — Ist der Kopf auf die Brust gebeugt, so scheint sie um ungefähr 30° nach hinten, ist er nach hinten übergebeugt, so scheint sie um ungefähr 40° nach vorn geneigt. Unter allen diesen Bedingungen scheint der Körper natürlich um diese schiefe Axe einen mehr oder weniger offenen Kegel zu beschreiben, dessen Spitze sich im Kopfe befindet, an dem Punkte, wo die wahre Axe von der scheinbaren Axe geschnitten wird. Diese Täuschungen werden leicht empfunden, aber sie lassen sich schwer des genaueren bestimmen, weil sie nur kurze Zeit währen . . . . Um sie sich

leichter zu verschaffen, kann man während einer Drehung in der angegebenen Stellung sich plötzlich anhalten lassen. Die Empfindungen sind dann stärker, denn dies ist einer plötzlichen negativen Beschleunigung gleichwerthig . . . . Man kann sich ferner in schnelle Drehung versetzen lassen, während man den Kopf gerade hält, und dann plötzlich den Kopf neigen. Die Lageveränderung der Drehungsaxe wird dann sehr scharf empfunden . . . . . Wenn man während der Bewegung die Stellung des Kopfes verändert, so tritt urplötzlich die der neuen Kopflage zugehörige Täuschung an Stelle der vorhergehenden . . . ."

„b) Drehung um die Queraxe des Körpers (auf dem Zapfenbrette)."

„Die Versuchsperson streckt sich mit verbundenen Augen auf dem Apparate aus, lässt sich eine mässige Neigung von etwa 35° bis 40° zur Verticalen geben, dann eine mehr oder weniger oscillirende Bewegung um diese mittlere Lage ertheilen. — Wenn der Kopf seine normale Stellung hat, so werden die Bewegungen ohne Fehler empfunden. Wenn das Gesicht nach rechts gewendet wird, so scheint unmittelbar die Drehungsachse im umgekehrten Sinne nach links hin um wenigstens 45° verlegt, ohne dass sie aufhört horizontal zu sein . . . . . Neigt man den Kopf nach der einen oder anderen Schulter durch Drehung um seine sagittale Axe, so scheint die Oscillationsaxe sich um etwa 25° im entgegengesetzten Sinne wie der Kopf und in derselben Ebene wie dieser zu drehen. Sie ist also nicht mehr horizontal, ohne die frontale Ebene zu verlassen, und wird schief von rechts nach links und von oben nach unten, wenn der Kopf nach rechts geneigt ist, — von links nach rechts und von oben nach unten, wenn der Kopf nach links geneigt ist. Der Körper scheint um diese schiefe Axe einen doppelten Kegel von etwa 50° zu beschreiben. Die beiden Kegel stehen mit ihren Spitzen gegeneinander, und diese letzteren befinden sich in dem Punkte, wo die wirkliche Axe von der scheinbaren geschnitten wird. Der Körper scheint nur in dem Augenblicke vertical zu sein, wo er in die sagittale Ebene übergeht."

Aehnlich bei Drehung des Körpers um eine sagittale Axe: „Wenn dabei der Kopf sich um seine verticale oder quere Axe gedreht hat, so werden die Eindrücke die nämlichen, als wenn sich die Drehungsaxe um dieselbe Axe wie der Kopf gedreht hätte, aber umgekehrt wie dieser."

„Man muss wohl verstehen, dass in all diesen Fällen die Täuschung durch die neue Stellung des Kopfes verursacht worden ist und nicht durch seine Bewegung behufs Annahme dieser Stellung. Die Täuschung wird in der That ebensogut empfunden, wenn der Kopf seine abnorme Stellung annimmt, bevor die Drehbewegung begonnen hat."

Aubert bemerkt hiezu: „Es sei ihm nicht möglich gewesen, zu so exacten Empfindungen über die Abweichungen der Axen zu gelangen, wie Delage sie angibt."

Auch mir ist es bei Wiederholung der Versuche auf dem Zapfenbrett unmöglich, jene präcisen Veränderungen der Axe zu empfinden, welche Delage angibt. Aber ich stehe auch von vorne herein anders als Delage zu der Frage nach der Lage der Ebene, in welcher ich schwinge. Ich muss mich entscheiden, ob ich sie in Beziehung auf die Normalebene meines Körpers oder in Bezug auf die meines Kopfes benennen soll. Wähle ich die erste Bezeichnung, so bleiben die Namen der Schwingungsebene bei der Kopfdrehung unverändert; wähle ich die letztere, d. h. benenne ich die Schwingungsebene nach der Ebene des Kopfes, der sie parallel ist, so wechselt der Name natürlich mit der Kopfstellung, aber dies ist keine Täuschung, sondern völlig richtig und nur Sache der Benennung[1]).

Delage empfindet anders: „Da wir gewohnt sind, den Kopf grade zu halten, so schreiben wir unserem Körper diejenige Bewegung zu, welche er gemacht haben würde, wenn der Kopf in seiner normalen Stellung dieselben Empfindungen gehabt hätte. So glauben wir bei der oscillirenden Bewegung auf dem Zapfenbrette, wenn wir nach vorn bewegt werden und der Kopf nach rechts gewendet ist, uns nach vorn und links zu bewegen, weil wirklich der Kopf sich nach seiner linken Seite hinbegibt und weil in der normalen Stellung die linke Seite des Körpers zusammenfällt mit der des Kopfes" (p. 72). Die hierdurch bedingte Ungenauigkeit oder Irrthümlichkeit der Bezeichnung ist rein individuell. Keine der Personen, welche ich auf dem Zapfenbrett und der, allerdings gewöhnlichen, Schaukel die Schwingungsebene bestimmen liess,

---

1) Es wird hier abgesehen von den geringeren scheinbaren Verlagerungen der Schwingungsebene, welche durch die Unterschätzung der Kopfdrehung, Delage's „statische Täuschung" eingeführt werden.

benannte sie, wie Delage, nach den Axen des Kopfes bei seiner jeweiligen Stellung. Sie ist auch rein psychologisch bedingt, d. h. erlaubt durchaus keinen Schluss auf das bei der Perception betheiligte Sinnesorgan, denn sie hängt ja, nach Delage selbst, davon ab, dass die völlig bewusste Kopfdrehung vergessen oder ignorirt wird.

Um so merkwürdiger ist, dass Delage erklärt, diese „dynamische Täuschung" trete nie auf in der „Schaukel ohne Drehung."

„Merkwürdiger und unerwarteter Weise geben die Fortbewegungen keinen Anlass zu irgend einer Täuschung. In der Schaukel ohne Drehung, sogar während der weitesten Schwingungen veranlasst die Drehung des Kopfes um eine seiner Axen keinerlei Täuschung."

Wenn nun die „dynamische Täuschung" beim Versuch in der gewöhnlichen Schaukel wirklich nur auf der Vernachlässigung der Kopfdrehung beruhte, indem der Beobachter die Schwingungsebene nach seinen Kopfaxen benennt, so wäre absolut nicht einzusehen, warum diese Gepflogenheit oder dieses Vergessen in der „Schaukel ohne Drehung" wegfallen sollte, gleichviel, ob die Progressivbewegung im Labyrinth empfunden wird oder nicht.

Um die Sache, soweit möglich, aufzuklären, betrachten wir zunächst den Versuch auf dem Zapfenbrett oder in der gemeinen Schaukel, wobei der Kopf während der Bewegung gedreht wird. Wenn ich z. B. nach vorne abwärts schwinge, und nun rasch den bisher gerade gehaltenen Kopf nach rechts wende, so verlagert sich allsogleich die Schwingungsebene nach rechts und zwar auch in Bezug auf den Rumpf, also sozusagen real, nicht bloss nominell. Der Grund dafür liegt nicht in dem Vergessen oder Vernachlässigen der vollzogenen Kopfdrehung, sondern in der Eigenschaft der Drehempfindungen nachzudauern. Bei jeder kurzen Kopfdrehung wird die durch den Beginn derselben erzeugte und während derselben andauernde Rotationsempfindung durch den entgegengesetzten Drehungsmoment beim Anhalten der Drehung ausgelöscht. Geschieht dies nicht, wie nach längerer Drehung, wenn die anfangs aufgetretene Rotationsempfindung erloschen ist, so bleibt die durch das Anhalten bedingte länger bestehen: Drehschwindel. Ebenso aber, wenn, während eine Rotationsempfindung besteht, der Kopf gedreht wird; die Rotationsempfindung behält ihre relative Lage zu den Kopfaxen bei, und verändert dementsprechend ihre Lage im Raum. Dauert die reale Rotation, wie in der

Schaukel, fort, so combinirt sich die Scheinbewegung, — aus der früheren Kopfstellung stammend, — mit der realen, jetzt richtig percipirten Rotation zu einer Resultirenden[1]).

Diese wirklich „dynamische Täuschung" fehlt bei der Progressivbewegung in der „Schaukel ohne Drehung" und zwar aus dem einfachen Grunde, weil schwache Progressivempfindungen keine merkliche Nachdauer haben (s. oben p. 213). Sowie die Kopfdrehung vollzogen ist, wird die reale Bewegung sogleich percipirt, ohne durch eine restirende Scheinbewegung abgeändert zu werden.

Dies ist also ein wirklicher Unterschied zwischen Rotations- und Progressivempfindungen, welcher aber sich nur bei Kopfdrehung während der Bewegung bemerklich macht. Um diesen Unterschied kann es sich bei Delage's Beobachtung nicht handeln, da er ausdrücklich erklärt, die „dynamische Täuschung" trete ganz ebenso auf, „wenn der Kopf seine abnorme Stellung annimmt, bevor die Drehbewegung begonnen hat."

So muss ich es völlig unerklärt lassen, warum Delage von der ihm völlig bewussten Kopfdrehung absieht in der gemeinen Schaukel, und es nicht thut in der „Schaukel ohne Drehung." Sicherlich aber kann daraus kein Argument geschöpft werden, die Progressivempfindungen dem Labyrinth zu- oder abzusprechen, ebenso wie oben die Meinung Delage's abgelehnt werden musste, dass seine „statischen Täuschungen" etwas bewiesen gegen die Entstehung der Lageempfindung im Labyrinth.

B. Ueber das Fortbestehen der compensirenden Bewegungen und des Drehschwindels nach Acusticus-Durchschneidung.

Die Vertheidiger der Lehre vom statischen Sinne haben immer viel Gewicht gelegt auf die, ihrer Meinung nach vom Labyrinthe ausgelösten, jede passive Drehung compensirenden Bewegungen der Augen und des Kopfes und auf das Phänomen des Dreh-

1) Das entwickelte Verhalten beruht auf demselben Grunde, wie das Purkinje'sche Gesetz für den Drehschwindel: „Dass der Durchschnitt des Kopfes (als einer Kugel), um dessen Axe die erste Bewegung geschah, die Schwindelbewegung bei jeder nachmaligen Lage des Kopfes unveränderlich bestimmt."

schwindels, welchem diese Lehre eine ihrer Hauptstützen verdankt. Es drängte sich daher alsbald die Frage auf, wie es sich hiermit verhalte, wenn das Labyrinth beiderseits völlig zerstört oder durch Acusticusdurchschneidung vom Centrum abgetrennt worden ist.

Die Besprechung der hierüber vorliegenden Beobachtungen ist eine Arbeit, deren rein kritischer Character für Autor und Leser gleich ermüdend sein dürfte. Da es sich aber um eine der entscheidendsten Fragestellungen handelt, konnte ich mich der Discussion derselben nicht entziehen.

Wir ordnen die in der Litteratur vorfindlichen Angaben nach den Thierklassen.

Bezüglich der Fische finden wir die Angabe von Sewall (J. of Physiol. IV), die Augenbewegungen, mit welchen Fische jede passive Drehung ihres Kopfes beantworten, fehlten nur in jenen Fällen von Verletzung des Labyrinthes, in denen auch starke Bewegungsstörungen eingetreten seien.

Bezüglich der Frösche hat Steiner angegeben, sie reagirten nach Durchschneidung des Acusticus auf der Drehscheibe so wie vor der Operation.

Schrader hat hingegen constatirt, dass dies nicht der Fall sei und dass Frösche, denen von der Mundhöhle aus die häutigen Bogengänge herausgenommen, oder die Acustici durchschnitten wurden, ohne die mindeste compensirende Bewegung sich auf der Scheibe rotiren lassen. (Ich habe dies bestätigt gefunden. S. oben p. 237.)

An Vögeln ist die Durchschneidung des Acusticus begreiflicherweise nie versucht worden, oder mindestens nie gelungen, (sie müsste sich mit der Läsion einer grossen Vene compliciren) und die Fragestellung beschränkte sich auf die möglichst vollständige Zerstörung des Bogengangapparats durch Exstirpation der häutigen Canäle sammt ihren Ampullen.

Ich habe gezeigt, dass so operirte Tauben manchmal, wenn ihre enorme Bewegungsunruhe nach 2—3 Tagen geschwunden ist, einen oder zwei Tage ruhigen, relativ-normalen Verhaltens haben, bevor die Kopfverdrehung eintritt und dass man in dieser Zeit constatiren kann: dass nach Exstirpation des Bogengangapparates

1) Breuer, Function d. Bogengänge. Med. Jahrb. 1874, p. 52.
" Beiträge z. Lehre v. stat. Sinne. Med. Jahrb. 1875, p. 11.

die compensirenden Kopfbewegungen ausbleiben, wenn die Gesichtseindrücke durch Verdecken der Augen ausgeschlossen werden.

Die Bemerkung von Cyon's, dass ein Versuch dieser Art nicht gelingen könne wegen der heftigen Bewegungen, denen die operirten Thiere anheimfallen, ist durchaus unberechtigt, weil dies eben für die betreffenden Thiere im angegebenen Zeitpunkt nicht zutraf. Allerdings, hätte ich die Taube nicht in der Hand gehalten und ihre compensirenden Kopfbewegungen geprüft, sondern hätte ich sie auf der Drehscheibe rotirt und plötzlich auf den Boden gesetzt, so wäre wahrscheinlich, wie, bei jeder andern Aufregung des Thieres, der Bewegungssturm wieder losgebrochen.

Dies ist aber eben der Fehler, welcher fast allen beschriebenen Beobachtungen an Säugethieren mit durchschnittenen Acusticis anhaftet. Bei keiner von ihnen sind, soviel mir bekannt, die Augen der Thiere verdeckt worden und immer wurden dieselben heftig rotirt. Da Thiere mit durchschnittenen Acusticis auf jede aufregende Störung ihrer Ruhe hin, Zwangsbewegungen, Kreis- und Rollbewegungen bekommen, ist nicht zu verwundern, dass sie nach der Rotation auf der Drehscheibe auch solche Bewegungen machen. Diese werden dann als Reaction des durch die Rotation hervorgerufenen Drehschwindels gedeutet. Den Versuch von Mach[1]), während der Rotation den Kopf des Thieres in verschiedener Stellung zu fixiren und dadurch die Ebene des eventuellen Drehschwindels zu variiren, hat niemand an einem Thier mit durchschnittenen Acusticis wiederholt. Ein solcher Versuch hätte allerdings entschieden, dass auch labyrinthlose Thiere Drehschwindel haben, wenn er positiv ausgefallen wäre, wie am unverletzten Thiere. Doch wie gesagt, er ist nie unternommen worden.

Gehen wir nun die vorhandenen Beobachtungen einzeln durch.

Frl. Tomasiewiez[2]) berichtet von drei Kaninchen mit durchschnittenen Acusticis, sie hätten „normal auf Rotation und elektrische Durchströmungsversuche reagirt.“ Sonst kein Detail. Cyon[3]) sagt von seinen Kaninchen aus: „Wenn die intracranielle Durchschneidung zweier Acustici gut gelungen ist, ohne von

1) Mach, Bewegungsempfindungen, p. 38.

2) Tomasiewicz, Beitr. z. Physiol. d. Ohrlabyrinthes 1877, Züricher Dissertat. p. 18.

3) v. Cyon, Ges. Abhandlungen, p. 310 u. 398.

einem Bluterguss oder anderem schlimmen Zufall begleitet zu sein, überleben die Thiere die Operation und die weiter oben beschriebenen Erscheinungen (Rollungen) verlieren sich allmählich. Nach Verlauf von 6—10 Tagen hält das Thier sich aufrecht, es kann seinen Platz wechseln u. s. w., aber seine Bewegungen behalten ein gewisses Gepräge der Unsicherheit, weshalb es den Platz nur dann wechselt, wenn man es zwingt es zu thun. Es sucht dabei immer eine Mauer oder Ecke auf, um hier einen Stützpunkt zu finden. Bei diesem Ortwechsel wählt jedes Thier stets vorzugsweise ein und dieselbe Richtung, das eine schreitet vorzugsweise rückwärts, das andere seitwärts u. s. w."

Solche Thiere wären vielleicht brauchbar um die An- oder Abwesenheit der compensirenden Kopf- und Augenbewegungen zu prüfen. Es beweist aber aus den oben angeführten Gründen sehr wenig, wenn von ihnen ausgesagt wird, dass „sie jedesmal, nachdem man sie einer Rotation auf der Drehscheibe unterworfen hat, eben dieselben Schwindelsymptome, welche Mach am gesunden Kaninchen beobachtete, wahrnehmen liessen."

Weitaus die besten Acusticusdurchschneidungen scheint mir Bechterew[1]) an Hunden vorgenommen zu haben; er bringt aber keine Beobachtungen bei über die uns hier beschäftigende Frage.

Baginsky[2]) hat nach Erbrechen des Labyrinthes bei Hunden die oft beschriebenen Erscheinungen beobachtet und bei der Obduction den Mangel von Veränderungen am Gehirn constatirt. Von früher her ein Gegner der hier vertretenen Anschauung von der Function des Vestibulum, fand er noch eine besondere Schwierigkeit in der von ihm in einigen Fällen beobachteten Anästhesie der Cornea auf der operirten Seite. „Man konnte sie berühren mit dem Finger oder mit einem spitzen oder stumpfen Instrumente, ohne dass auch nur die geringste Spur einer Reflexerregbarkeit nachweisbar gewesen wäre, während das Auge der anderen Seite auf denselben Reiz lebhaft reagirte. Ich muss noch erwähnen, dass abgesehen von dem Verlust der Reflexerregbarkeit der Cornea, auch der Lidschluss des obern Augenlides in einigen Fällen verloren gegangen war." — Mit all der Reserve, zu der man bei Deutung eines fremden Versuches verpflichtet ist, möchte ich mir

1) Bechterew, Acusticusdurchschneidung. Pflüger's Arch. Bd. 30.
2) Baginsky, Zur Phys. d. Bogengänge. Du Bois' Arch. 1885.

die Vermuthung erlauben, es habe sich überhaupt weniger um Anästhesie der Cornea, als um Lähmung des Sphincter palpebrarum gehandelt und es sei bei diesen Hunden der Facialis im Felsenbein beim Erbrechen des Promontoriums geschädigt worden, wenn auch nicht durchtrennt.

Baginsky sucht und findet nun eine vom Labyrinth abstrahirende Erklärung seiner Versuche in Folgendem:

„Gelegentlich der Versuche, welche Mendel über den paralytischen Blödsinn bei Hunden anstellte, war es mir aufgefallen, dass Hunde, welche nur wenige Minuten auf der Drehscheibe gedreht wurden, Nystagmus und Kopfpendelungen zeigten, Erscheinungen, welche allerdings rasch vorübergingen. Im Anschluss an diese Beobachtungen führte ich die Versuche so durch, dass die Thiere, nachdem sie wenige Minuten gedreht waren, sogleich vom Tisch losgebunden und auf die Erde gelassen wurden. Abgesehen vom Nystagmus und den Kopfpendelungen taumelten jetzt Hunde nach der einen oder andern Seite, erholten sich aber von den Störungen recht schnell und zeigten nach kurzer Zeit keine Veränderung weiter. Halte ich diese Störungen denjenigen gegenüber, welche ich nach Erbrechen des Labyrinthes beobachtet und beschrieben habe, so zeigten sich fast nur graduelle und zeitliche Unterschiede. Sonst glichen sie sich vollständig."

Baginsky hat also 1885 den Drehschwindel und die Identität der dabei auftretenden Bewegungen mit den Flourens'-schen Phänomenen wieder beobachtet. „Und alle diese Störungen", fährt Baginsky fort, „sind hervorgerufen einzig und allein durch Aenderung der hydrostatischen und hydrodynamischen Verhältnisse innerhalb der Schädelhöhle, durch Veränderung der Circulation, welche in letzter Instanz einen Reiz auf die Gehirnsubstanz, wahrscheinlich besonders an der Basis setzt. Dass es sich in der That so verhält, geht unzweifelhaft hervor aus dem schnellen Schwinden aller Erscheinungen."

Ich muss hier eine Einschaltung machen. Baginsky dürfte entfallen sein, dass es über den Drehschwindel schon eine Litteratur gibt, in welcher manche interessante Thatsachen mitgetheilt werden; z. B. dass (die Scheinbewegung und) der Nystagmus, Kopfpendelungen und Körperrotationen absolut von der Kopfebene abhängen in welcher, die Drehung stattfand (s. o. p. 289 Anm. das Purkinje'sche Gesetz). Es ist unmöglich dieses damit zu erklären,

dass die „hydrostatischen und hydrodynamischen Verhältnisse im Gehirn“ durch die Drehung geändert würden, und eben dadurch sind die Phänomene des Drehschwindels zu einem Hauptargument geworden für die Lehre von den Bogengängen als Perceptionsorgan der Winkelbeschleunigungen.

„Die eben beschriebenen Störungen,“ sagt Baginsky weiter, „zeigen sich aber auch an solchen Hunden, welche vorher beiderseits ganz taub gemacht waren. Auch solche taube Hunde, auf die Drehscheibe gesetzt, zeigen nach Drehung Nystagmus, Kopfpendelungen und Taumelbewegungen. Was demnach aus diesen Versuchen mit Sicherheit hervorgeht, ist, dass zur Erzeugung der Schwindelerscheinungen die Existenz eines oder beider Labyrinthe nicht nöthig ist und dass sie entstehen können ohne anatomisch nachweisbare Gehirnläsion, einzig und allein durch Störung der Circulation und durch Veränderung der Druckverhältnisse im Schädelraum.“

Diese Deduction hat einen Sinn nur unter der Voraussetzung, dass die „vorher ganz taub gemachten“ Hunde nicht bloss keine functionsfähige Schnecke, sondern auch keinen functionsfähigen Vestibular- und Bogengang-Apparat hatten. Diese Voraussetzung ist auch der Grund, warum ich die Abhandlung Baginsky's hier bespreche; weil hier von Thieren mit voraussetzlich völlig zerstörtem Labyrinth berichtet wird, dass sie noch die Erscheinungen des Drehschwindels geboten hätten.

Diese stillschweigende Identification von „ganz tauben“ mit ganz labyrinthlosen Hunden ist aber falsch. Ueber die Operation, wodurch die Thiere ganz taub gemacht worden waren, finde ich an dieser Stelle nichts angegeben. Es kann wohl nur durch Zerstörung der Schnecke geschehen sein und ich glaube daher annehmen zu dürfen, dass diese tauben Thiere aus einer Arbeit über die Gehörschnecke stammen, über welche Baginsky in Virchow's Archiv Bd. 99 berichtet hat. Er bemühte sich dort, durch partielle Zerstörung der Schnecke zu zeigen, dass die Helmholtz'sche Annahme richtig sei, nach welcher die unteren Windungen die hohen, die höheren Windungen die tieferen Töne percipiren. Die Sectionsbefunde bei diesen Thieren haben Baginsky ergeben, dass theilweise Zerstörung der Schnecke möglich ist, wobei andere Theile derselben dauernd intact bleiben. Aber während Baginsky dort selbst den Beweis geliefert hat, dass Zerstörung eines Stückes

z. B. der untern Schneckenwindung nicht einmal die ganze Schnecke functionsunfähig machen muss, setzt er hier einfach voraus, dassHunde, deren Schnecke functionsunfähig geworden, auch kein Vestibulum und keinen Bogengangapparat mehr hätten! Dies ist durchaus zurückzuweisen. Ob ein tauber Hund einen functionsfähigen Vestibularapparat habe oder nicht, kann nur die anatomische Untersuchung ergeben. Dass aber diese den Untergang des ganzen Labyrinths gezeigt und Baginsky hier, wo für die zu entscheidende Frage alles darauf ankam, die Mittheilung davon unterlassen hätte, ist wohl nicht denkbar. Wir sind also vollauf berechtigt anzunehmen, diese „ganz tauben“ Hunde hätten einen wenigstens theilweise normalen Bogengangapparat besessen.

Den weiteren Ausführungen Baginsky's folge ich nicht, als hier irrelevant. Uns interessirt hier, dass auch B. durchaus nicht gezeigt hat, ein Thier ohne functionsfähiges Labyrinth unterliege noch dem Drehschwindel.

Nach diesen grossentheils negativen Ergebnissen der Experimente erinnere ich an die oben p. 209 ausführlich referirte Arbeit von W. James über Schwindelempfindungen bei Taubstummen. Dass unter 519 untersuchten taubstummen Menschen 186 absolut durch Rotation nicht schwindlig zu machen waren, bei Drehungen, nach welchen von 200 gesunden jungen Leuten nur einer gehen konnte, scheint mir entscheidender als alle bisherigen Resultate der Thierversuche und eine Wiederholung dieser Versuche viel wichtiger als die abermalige Durchschneidung des Acusticus an Thieren. Diese letzteren Versuche haben, wie wir eben gesehen, durchaus nicht bewiesen, dass Thiere mit zerstörtem oder vom Centrum abgetrenntem Labyrinthe noch Drehschwindel hätten oder Rotationen durch Kopf- und Augenbewegungen compensirten.

C. W. Preyer: Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittelst der Bogengänge. Zum Theil nach Versuchen des Hrn. Cand. d. Med. K. Schäfer. Pflüger's Arch. XL, p. 596.

Karl Schäfer, Ueber die Wahrnehmung eigener passiver Bewegung durch den Muskelsinn. Pflüger's Arch. XLI, p. 567.

Diese beiden Abhandlungen stehen in engem Zusammenhange. In der erstgenannten theilt Prof. Preyer die Resultate einer Experimental-Untersuchung über die Wahrnehmung der Schallrichtung

mit und entwickelt sodann die Hypothese, dass diese Wahrnehmung mittelst der Bogengänge erfolge. In der zweiten sucht Herr Schäfer die Wahrnehmung passiver Bewegung, welche bisher von Vielen dem Vestibularapparate zugeschrieben wurde, anders zu erklären, nachdem nun durch die Preyer'sche Abhandlung die Ampullen wieder für akustische Leistungen in Anspruch genommen werden.

Wenn ich nun daran gehe, die Anschauung Preyer's zu besprechen, habe ich die mit einem grossen Aufwand von Sorgfalt und Mühe gewonnenen thatsächlichen Ergebnisse über Wahrnehmung der Schallrichtung selbstverständlich einfach zu acceptiren.

In dem zweiten Theil seiner Abhandlung giebt dann Preyer die folgende Entwickelung: „Wenn man bedenkt, dass die Fische, welche keine Schnecke haben, nicht allein hören[1]), sondern auch trotz Fehlens einer äusseren Ohröffnung die Richtung erkennen, aus welcher ein Schall kommt, so erscheint die Vermuthung gerechtfertigt, dass es die Bogengänge seien, welche mittelst Kopfleitung diese Leistung ermöglichen, indem, je nach der Richtung des Schallstrahls in Bezug auf das Thier, der eine oder der andere Bogengang stark, bald zwei oder drei der sechs Ampullen, bald keine derselben hinreichend stark afficirt werde, um eine Schallempfindung mit dazu gehörigem Raumgefühl zu Stande kommen zu lassen.“

„Die Kopfleitung ist eine Thatsache und kommt beim Hören der ausschliesslich im Wasser lebenden Wirbelthiere allein in Betracht. Diese Fortpflanzung des Schalles ist sogar bei den Fischen wegen des Wasserreichthums ihres Kopfes ohne Zweifel begünstigt im Vergleich zu derselben bei den übrigen nur temporär oder gar nicht im Wasser verharrenden Wirbelthieren.“

„Es lässt sich aber nicht läugnen, dass durch Schallstrahlen verschiedener Einfallsrichtung in jedem Wirbelthierkopfe, wie im Fischkopfe, die Endolymphe in den häutigen Bogengängen in Erschütterungen von derselben Frequenz und entsprechender Stärke versetzt werden muss, wie sie das Wasser oder die Luft ausserhalb erfährt. Dann werden diese aber auch wegen der an jedem Punkte jedes Bogengangs vorhandenen Krümmung sofort die ganze Masse der Flüssigkeit in isochrone Bewegung versetzen müssen.

1) S. oben p. 235.

Hierdurch kommen die in den Ampullen in die Endolymphe hineinragenden Hörhaare nothwendig in Mitschwingungen, und wenn man erwägt, dass bei derartiger Erregung einer Ampulle durch Erschütterung der Flüssigkeit nur des ihr zugehörigen Bogengangs eine andere Schallempfindung bei gleicher Stärke, Tonhöhe und Klangfarbe, als bei Erregung einer anderen Ampulle entstehen muss (da es ja andere Nervenfasern sind, die erregt werden), so wird man diese Verschiedenheit nicht anders denn als eine räumliche bezeichnen können. Das Thier hat seit unzählbaren Generationen ausnahmslos, wenn die Nerven der Ampulle I links stärker erregt waren als die der anderen Ampullen, auch als die von II und III links, die Erfahrung gemacht, dass ein Schall gerade von links herkam und so für die anderen Ampullen, die dem oben II und hinten III entsprechen."

„Es ist also eine völlig legitime Hypothese, wenn ich behaupte: die specifische Energie der Ampullarnerven ist es, ein mit Schall verbundenes Raumgefühl zu geben und zwar ein Richtungsgefühl. Die Art dieses Eindrucks ist verschieden je nach der Richtung, aus welcher der Schall herkommt und wird durch diesen bestimmt, indem die einzelnen Schallrichtungen, welche überhaupt erkannt werden können, immer einen Bogengang oder ein Bogengangspaar stärker als die anderen treffen müssen."

Ich werde im Folgenden nicht untersuchen, ob die Deduction der fraglichen Hypothese sie zu einer völlig legitimen macht, sondern blos, ob diese Hypothese, wenn man sie annimmt, das Phänomen der Richtungswahrnehmung erklären kann, für welches sie erfunden ist; bezüglich, welche weitere Annahmen stillschweigend gemacht werden müssen, um dies Phänomen für erklärt anzusehen.

Die feinst differenzirte specifische Energie der verschiedenen Nervenendigungen eines Organes kann doch offenbar nicht zu ihrer vollen Verwerthung kommen, wenn die zu percipirenden physikalischen Vorgänge nicht differenzirt bis zu den Sinnesoberflächen gelangen. Eine Netzhaut mit der feinsten Differenzirung ihrer Elemente würde keine Bildlocalisation möglich machen, wenn ihr ein dioptrischer Apparat vorläge, welcher alle Strahlen, woher sie auch kämen, parallel machte. Genau so liegt aber zunächst der Fall bezüglich der durch die Luftleitung zum Labyrinth gebrachten Schallwellen. Aus welcher Richtung auch immer sie

kommen, sie werden im äusseren Gehörgang in eine Welle verwandelt, welche ihn in seiner Längsrichtung durchsetzt, dann in eine Bewegung der Gehörknöchelchenkette und als solche aufs Labyrinthwasser übertragen. Schallwellen aus allen Richtungen sind also im Zuleitungsapparat vollständig gleichgerichtet worden. Wenn aber die Schallwellen von oben, unten, hinten und vorne kommend immer in derselben Richtung auf die Endolymphe übertragen werden, wie sollen sie dann je nach ihrer Ursprungsrichtung die drei Canäle verschieden afficiren? In der Luftleitung zugeführte Schallwellen können also durch die Bogengänge nicht räumlich differenzirt werden, auch wenn diese die von Preyer postulirte specifische Energie im höchsten Ausmaasse besitzen sollten.

Preyer ist nicht dieser Anschauung, dass von der Luftleitung für die Wahrnehmung der Richtung abzusehen ist; er bildet u. A. über die Bevorzugung des horizontalen Bogengangs durch den Parallelismus desselben mit der Fussplatte des Steigbügels[1]) Vorstellungen, auf die ich glaube nach dem Gesagten nicht weiter eingehen zu müssen.

Die Luftleitung ist in so überwiegendem Maasse am Hören des Menschen betheiligt, dass ihr Ausfall die Theorie schwer zu schädigen scheint. Preyer sagt auch, dass „die Erkennung der Schallrichtung nach Verschluss beider Ohren erheblich erschwert sei"; doch wird sie dabei noch in solchem Maasse richtig beurtheilt, dass zunächst die Vermuthung gerechtfertigt erscheint, die Knochenleitung leiste, was der Luftleitung unmöglich ist und durch diese gelinge die Wahrnehmung der Schallrichtung.

Bezüglich der Knochenleitung nun setzt die Preyer'sche Theorie wieder stillschweigend voraus, dass die Schallwellen im Innern des Felsenbeins noch dieselbe Fortpflanzungsrichtung haben (und zwar recht genau dieselbe), die sie in der Luft besassen. Dies scheint mir schwer denkbar angesichts der tiefen Lage des Labyrinths bei Säugethier und Mensch und der complicirten Formen und Elasticitätsverhältnisse von Schädelkapsel und Schädelbasis. Ich weiss nicht, ob es überhaupt möglich ist, bei einem solchen festen Gebilde a priori von irgend einer Stelle zu bestimmen, in welcher

1) Wohl mit deren längerem Durchmesser.

Richtung sie schwinge, wenn an einer anderen Stelle Schallwellen von bestimmter Richtung den Körper treffen; aber annehmen, dass die Fortpflanzungsrichtung noch unverändert dieselbe sei, wie die der aufschlagenden longitudinalen Luftwellen, heisst einen Specialfall unter unendlich vielen möglichen Fällen supponiren. Diese Schwierigkeit hat ja immer die Annahme dieser ältesten Hypothese über die Function der Bogengänge verhindert, und sie scheint mir nicht behoben zu sein dadurch, dass sie stillschweigend bei Seite geschoben wird. Ich glaube also nicht, dass der angenommenen specifischen Energie der Ampullennerven durch die physikalischen Verhältnisse der Schwingungszuleitung die Möglichkeit geboten ist, correct zu functioniren; für die Knochenleitung so wenig wie für die Luftleitung.

Nehmen wir nun an, diese Schwierigkeit sei behoben, so finden wir, dass die in Frage stehende Theorie weitere Voraussetzungen macht. Angenommen, im Felsenbein schritten die Schallschwingungen vor in derselben Richtung wie sie auf den Schädel trafen, wird dann durch sie mehr lebendige Kraft auf die Endolymphe übertragen, wenn die Ebene des Kanals senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung der Wellen steht oder wenn sie ihr parallel ist? Preyer nimmt stillschweigend das letztere an, was ich ohne weiteres nicht zugeben möchte.

Vor allem, lässt sich innerhalb eines festen Körpers mit in allen Richtungen gleicher Elasticität ein solcher Unterschied überhaupt statuiren? Diese Vorstellung setzt voraus, dass die Grenztheilchen der knöchernen Kanalwand ihre Schwingungen nur oder ganz vorwiegend in der Fortpflanzungsrichtung des Wellenzuges auf den flüssigen Kanalinhalt übertragen; ist diese Vorstellung vereinbar mit der Allseitigkeit, in welcher sich in einem festen Körper die Schwingung fortpflanzt? — Aber, auch dieses angenommen, so ist damit das Präcipuum der Parallelstellung von Fortpflanzungsrichtung und Kanalebene durchaus nicht gegeben. Im Gegentheil, wenn ich einen drehrunden Halbreif von Metall in strahlender Wärme, z. B. in der Sonnenstrahlung erwärmen will, so werde ich besser thun, seine Ebene senkrecht auf die Sonnenstrahlen zu stellen, als parallel dazu: entsprechend einer einfachen geometrischen Ueberlegung. Ebenso muss ich zunächst glauben, dass mehr lebendige Kraft auf die Endolymphe übertragen wird, wenn die

Richtung der Schallwellen senkrecht auf der Ebene des Bogengangs steht, als wenn sie derselben parallel ist[1]).

Die in Frage stehende Theorie macht also ausser der Annahme von der spezifischen Energie der Ampullarnerven noch stillschweigend eine Reihe von Voraussetzungen, die, wie ich glaube, aus physikalischen Gründen bedenklich sind; jedenfalls nicht ohne weitere Begründung vorausgesetzt werden können. Diese Bedenken würden gemindert oder wegfallen, wenn künftige Untersuchungen eine sehr differente Elasticität des Felsenbeins in seinen verschiedenen Durchmessern nachweisen sollten.

Preyer berechnet dann für 26 Schallrichtungen die relative Stärke der jeder der 6 Ampullen zugeführten Schallschwingungen; er folgert daraus, welche Schallrichtungen am ähnlichsten sind in der Vertheilung der Schallreize auf die Ampullen, welche am besten charakterisirt, schliesst daraus auf die grössere und geringere Wahrscheinlichkeit, die einzelnen Schallrichtungen zu verwechseln oder zu erkennen und findet diese Schlüsse aus seinen Voraussetzungen entsprechend den thatsächlichen Befunden seiner Versuchsreihen. Er unterlässt aber dabei in Rechnung zu ziehen, dass der ganze Vestibularapparat nach rückwärts geneigt ist. Preyer nimmt die Ebene des Horizontalkanals als, bei aufrechter Kopfhaltung, horizontal an, während sie in Wirklichkeit um 45° nach hinten geneigt ist[2]). Die Folge hiervon ist eine wesentliche Veränderung der relativen Reizwerthe, die man unter Preyer's Voraussetzungen, aber mit Berücksichtigung der wirklichen Lage des Labyrinthes erhalten würde. Hier in das Detail einzugehen und die Tabelle umzurechnen (welche dann durch Einbeziehung der vermeintlichen Begünstigung des horizontalen Canales in der Luftleitung noch

---

1) Es besteht aber ein anatomisches Verhalten, welches die Sachlage einigermaassen ändert. Der häutige Canal liegt der Wand des knöchernen Ganges nur an der Convexität an, und ist, dieser excentrischen Lage entsprechend, von allen andern Punkten des Knochenkanals durch eine, allerdings sehr dünne Schicht von Perilymphe getrennt. Es ist möglich, dass hierdurch die Uebertragung von Schallschwellen auf die Endolymphe in der Convexität des Ganges begünstigt würde; in welchem Ausmaass, lässt sich wohl nicht bestimmen.

2) S. Mach und Kessel, Beiträge zur Topographie u. Mechanik d. Mittelohrs. Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. 69.

complizirt wird), scheint mir in Anbetracht der sonstigen gegen die Hypothese sprechenden Bedenken nicht nöthig und nicht angemessen.

Ich resümire das Gesagte dahin: Es ist bezüglich der Luftleitung völlig unmöglich, bezüglich der Knochenleitung kaum denkbar, dass die Schallwellen an den Bogengängen noch in der Richtung anlangen, die sie in der äusseren Luft hatten. Preyer macht die hypothetischen Annahmen über die Bogengänge, um diesen die geometrische Analyse der Richtung der Schallwellenzüge zu übertragen, wie die Vertheidiger der Lehre vom statischen Sinne ihnen die Analyse der Rotationsbeschleunigungen zumuthen. Beide Theorien nehmen an, dass die bezüglichen physicalischen Momente, Fortpflanzungsrichtung der Schallwellen und Rotationsbeschleunigung durch die drei Ampullen in Bezug auf die drei Coordinaten des Raumes analysirt würden und dass aus den Empfindungen der Ampullen im Centrum wieder eine einheitliche räumliche Empfindung — der Schallrichtung oder der Drehungsrichtung — gebildet werde. Ich brauche wohl nicht weiter darauf einzugehen, welche der beiden Theorien die festere und ausgedehntere thatsächliche Grundlage besitzt.

Die Meinung möchte ich aber noch ausdrücken, dass die beiden Theorien einander nicht ausschliessen. Ich gestehe, das Gesetz von der specifischen Energie scheint mir nicht in so vollkommener Strenge und so absoluter Allgemeinheit bewiesen zu sein, dass ich die folgende Annahme für durchaus unzulässig halten sollte: Vibrationen der Hörhaare in den Ampullen brächten eine andere, aber eine verwandte Empfindung im Sensorium hervor, wie ihre Beugung en masse durch den Stoss der bei der Rotation zurückbleibenden Endolymphe. So regt jedes auffallende Bild, welches auf einer peripheren Netzhautstelle erscheint, reflectorisch jene Combination von Augenmuskelinnervationen an, welche nöthig wären, um dasselbe auf die Stelle deutlichsten Sehens zu bringen. Bekannte Theorien haben dies Verhalten für die Erklärung des Raumsinnes der Netzhaut benutzt.

Der Stoss der Endolymphe auf die Hörhaare der Ampullen bei passiver Rotation des Kopfes löst reflectorisch jene Kopf- und Augenbewegung aus, welche die Rotation compensirt und erzeugt zugleich die Empfindung der Rotation in bestimmter Ebene und Richtung; die in demselben Verhältniss auf die drei Ampullen ver-

theilte Erregung der Hörhaare durch Schallschwingungen würde dieselbe Bewegungscombination und dieselbe Vorstellung einer Kopfdrehung anklingen lassen. Es wäre dies jene, welche nöthig ist, um die Ohröffnung in die Richtung des percipirten Schalles zu bringen. Hierdurch würde der von der Schnecke gelieferten Schallempfindung ein Lokalzeichen beigefügt.

So würde die Preyer'sche Theorie sich ganz wohl in den Vorstellungskreis der Theorie vom statischen Sinne einfügen, wenn ihre physikalischen Voraussetzungen begreiflich gemacht werden sollten[1]).

Bezüglich der Abhandlung von Hrn. K. Schäfer (67 Seiten) muss und darf ich mich kurz fassen. Zur Rechtfertigung hierfür erlaube ich mir den Passus zu citiren, mit dem der Autor nach Darlegnng der zu erklärenden Thatsachen in die Discussion derselben eintritt. Es handelt sich um die Erklärung der compensirenden Bewegungen und der Nachdrehung. „Meiner Ansicht nach kann sich aber ein objectiv Urtheilender nicht mit einer solchen Erklärung zufrieden geben; denn die Basis derselben, die Idee, dass das Thier die passive Bewegung als etwas Unangenehmes empfinde, dem es um jeden Preis entfliehen müsse, ist eine ganz unbewiesene Annahme, die überdies noch bei eingehenderer Betrachtung sehr an Wahrscheinlichkeit verliert. Ich wenigstens halte es nicht für wahrscheinlich, dass ein Kaninchen, welches jedenfalls doch noch nie auf dem Caroussel gefahren ist, denkt: jetzt werde ich im Kreise gedreht und zwar rechts herum, und damit mich die Centrifugalkraft nicht herabwirft und ich mir dabei etwas zerbreche, will ich links herumlaufen, denn dadurch nimmt die Schwungkraft ab. Welchen Scharfsinn und welche Erfahrung er-

---

1) Nach Abschluss dieser Arbeit habe ich aus der Abhandlung von Dr. Münsterberg (Beiträge zur exper. Psychologie, Heft 2) über den Raumsinn des Ohres ersehen, in wie grossem Ausmaass die oben angedeutete Vorstellung mit den Anschauungen dieses Forschers zusammenfällt. Dr. Münsterberg aber versucht so wenig wie Prof. Preyer die physikalischen Vorbedingungen begreiflich zu machen; meine Vorbehalte scheinen mir daher auch seinen Darlegungen gegenüber in Geltung zu bleiben und nach dem jetzigen Stande unserer Einsicht in die Sachlage halte ich die Perception der Schallrichtung durch die Bogengänge in der Fassung der Münsterberg'schen Hypothese wie der Preyer'schen und meiner oben dargelegten für unmöglich.

fordert allein diese Ueberlegung; ich glaube kaum, dass ein Kind dieselbe zu Stande brächte! Fröschen und Salamandern traue ich sie nun gar nicht zu — und sie machen die Zwangsbewegungen doch; vor spontaner Geburt dem Uterus entnommene Meerschweinchen und eben ausgebrütete Hühnchen haben sicher keine Erfahrungen darüber, wie man am besten Rotationsbewegungen compensirt — und sie machen die Zwangsbewegungen doch; Meerschweinchen und Frösche ohne Grosshirn können schwerlich noch Vorstellungen haben und Entschlüsse fassen — und sie machen die Zwangsbewegungen doch!"

Auf derselben Seite (p. 574) wird auch behauptet, es bleibe durch „die Ansicht Mach's und Anderer" unaufgeklärt, „warum wir, wenn kein anderes Organ als die Bogengänge im Stande ist, Bewegungsempfindungen zu vermitteln, bei vollkommen unbewegtem Kopf ganz genau angeben können, wohin, wie weit, wie rasch ein Bein bewegt werde."

Dieser Beginn lässt voraussehen, dass in der Abhandlung mit viel Mühe und viel Behagen (und vielen Irrthümern) Vorstellungen widerlegt werden, die nie Jemand gehegt hat, und Dinge bewiesen, die nie Jemand bezweifelt hat. Sie enthält aber auch viel Originales. Dem Autor in seinen ausführlichen Darlegungen Schritt für Schritt zu folgen, wäre ein höchst umständliches und überflüssiges Beginnen. Schäfer giebt zuerst Auseinandersetzungen, welche die Empfindung progressiver Bewegung auf Muskelempfindung zurückführen; die Empfindung der Rotation wird aus der Centrifugalkraft abgeleitet, die compensirenden Kopfbewegungen erklärt aus dem Trägheitsbestreben des frei beweglichen Kopfes seine Stellung im Raume festzuhalten; eben daher die Schwindelerscheinungen u. s. f. Ich kann dem Leser der Abhandlung das Urtheil über die Stichhaltigkeit der Deductionen wie der Versuche überlassen.

Sollte dieser Aufsatz wirklich als Ergänzung der Preyerschen Arbeit intendirt sein, um zu zeigen, dass die Bogengänge für die Wahrnehmung der Schallrichtung verfügbar und die Bewegungsempfindungen anderweitig erklärbar seien, so kann diese Absicht sicherlich nicht als erreicht betrachtet werden.

Prof. R. Ewald hat schon mehrfach Resultate der sorgfältigsten Versuchsreihen publicirt, welche für die Lehre vom statischen Sinne von der grössten Wichtigkeit sein werden. Was davon bekannt ist, scheint Herrn Prof. Ewald selbst gegen diese Theorie zu sprechen. Da diese Arbeiten aber noch nicht abgeschlossen oder noch nicht vollständig publicirt sind, entziehen sie sich jetzt noch der Discussion.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel III, IV und V.

Fig. 1. Hinterer Theil der Hirnbasis vom Hecht mit den beiden Sacculis-Lagenis von unten gesehen. m. obl. — Medulla oblongata; ot. sacc. — Otolith des Sacculus; ot. lag. — unterer Pol des Otolithen der Lagena.

Fig. 2. Seitenansicht des Sacculus-Lagena vom Hecht (halbschematisch).

Fig. 3. Transversalschnitt durch die Schädelbasis eines kleinen Cyprinoiden (ziemlich weit rückwärts). Bei diesen Fischen ist der Sacculus sehr reducirt, die Lagena hingegen zum Haupttheil des Apparates entwickelt.

Fig. 4. Aus dem Sacculus eines jungen Barsches. Die Zellhaare (h) und die Schleimmasse in die sie eintreten (s. gel.) von Epithel und Otolithen abgelöst (Querschnitt).

Fig. 5. Querschnitt durch papilla nervosa und Otolithen des Sacculus vom Hecht. Die „Crista terminalis" (cr. term), bestehend aus Zellhaaren und dazwischen liegender schleimiger Substanz, sammt der darauf liegenden Substantia gelatinosa (s. gel.) hat sich vom Epithel abgelöst; die Subst. gelat. füllt, wohl wegen der durch den Alcohol eingetretenen Schrumpfung, die Furche des Otolithen nicht aus.

Fig. 6. Horizontalschnitt durch die hintere Hälfte von Sacculus-Lagena eines Hechtes; derselbe ist ein Längsschnitt der Papilla nervosa sacculi und ein Querschnitt der Papilla lagenae. Die Crista terminalis sacculi ist eine Strecke weit vom Epithel abgehoben; von ihr hat sich die subst. gelatinosa abgelöst.

Fig. 7. Ein Theil des Sacculus-Längsschnittes der Fig. 6 stärker vergrössert.

Fig. 8. Querschnitt durch den Utriculus eines jungen Barsches. otol. Otolith; s. gel. — substantiv gelatinosa; h. Zellhaare; ep. — Epithel; n. — Nerv.

Fig. 9. Enthäuteter Kopf eines kleinen Laubfrosches, durchsichtig gemacht; von unten gesehen. ot. utr. — Otolith des Utriculus, ot. sacc. — Otol. d. Sacculus, ot. lag. — der als Halbmond erscheinende Otolith der Lagena.

Fig. 10. Querschnitt durch die Lagena vom Laubfrosch.

Fig. 11. Längsschnitt durch die Lagena vom Laubfrosch. Die Papilla nervosa (Macula lagenae) erscheint auf dem Querschnitt halbkreisförmig, auf dem Längsschnitt eben.

Fig. 12 A. Schädel einer Meise, durchsichtig gemacht; von unten. Der Vestibularapparat frei präparirt. (Der Can. sagittalis erscheint hier so, als vereinigte er sich mit dem hintern Theile des Horizontalcanales. Dies ist aber nur scheinbar so; er verläuft unter demselben nach vorne.)

Fig. 12 B. Hinterer Theil der Schädelbasis einer Meise von oben. ot. sacc. — Otolith d. Sacculus im optischen Querschnitt.

Fig. 13. Flachschnitt in der Ebene des Sagittal-Canals durch das Gehörorgan eines Zeisigs. Der Schnitt trifft die Ampulla sagittalis (a. sag.) in ihrer Mittelebene, so dass von der Eminentia cruciata die Crista in ihrer ganzen Länge sichtbar ist; die Cupula terminalis derselben erscheint nur unvollständig, da sie in dieser Ampulle von zwei nach der Mitte convergirenden Haarbüscheln gebildet wird. Der Schnitt traf eben die Berührungsfläche der beiden Büschel. Unter der Ampulle ist der Recessus utriculi sichtbar mit der muldenförmigen Macula utriculi, und der vom Epithel abgehobenen Otolithenmembran. Darunter Sacculus und Cochlea, von welchen auf diesem Schnitte nur das Tegmentum vasculosum getroffen ist.

Fig. 14. Querschnitt durch das Vestibulum eines Zeisigs; Ebene des Frontalcanales. Im Utriculus nur ein Theil der Otolithenplatte erhalten.

Fig. 15. Der Sacculus von Fig. 14 stärker vergrössert. Ep. — Epithel, h. — Zellhaare; ot. — Otolith; kn. — knorplige Wand des Sacculus; cr. — Schädelkapsel.

Fig. 16. Querschnitt durch die Lagena einer Taube, an einer höhern Stelle, wo der Otolith nur mehr mit seinen zwei Zacken in die Schnittebene fällt. ep. — Epithel; h. — Zellhaare; ot. — Otolith.

Fig. 17. Vordere, mediale Ecke des Utriculus einer Taube. Durch starke Schrumpfung des ausfüllenden Celloidins ist die Otolithenmembran etwas vom Epithel abgehoben und sind dadurch die Zellhaare ausgespannt worden. tr. — Tropfen schleimiger Substanz auf der Otolithenplatte aufliegend, sich nach oben in feine Fäden auffasernd. ot. — Otolithenplatte; h. — Zellhaare; ep. — Epithel.

Fig. 18. Schnitt durch die lange Axe des Sacculus einer Taube (Ebene des Horizontalganges); h. — Zellhaare.

Fig. 19. Querschnitt durch die Schädelbasis eines jungen Kätzchens.

Fig. 20. Vestibulum eines Meerschweinchens. Der Schnitt in der Ebene des Frontalcanals geführt, trifft das Foramen ovale (f. ov.) und das Foramen rotundum (f. rot.). Der Steigbügel (st.) ist bei der Präparation ins Vestibulum hineingedrückt worden.

Fig. 21. Horizontalschnitt aus dem Vestibulum eines Kätzchens. sacc. — Sacculus; Crista amp. frontal. im Flachschnitt getroffen.



Fig. 1.

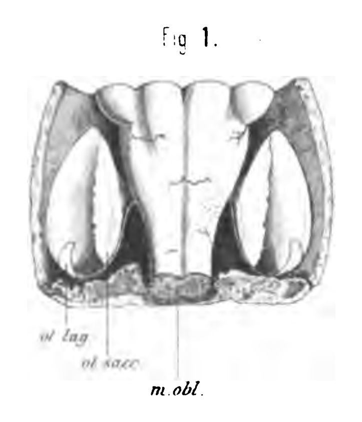


Fig. 2.

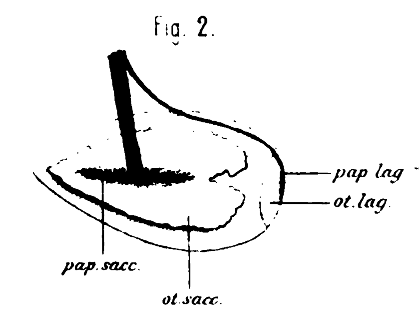


Fig. 3.

cerebr.
lag.
ot. lag.
sacc.

Fig. 4.

s. gel.
h.

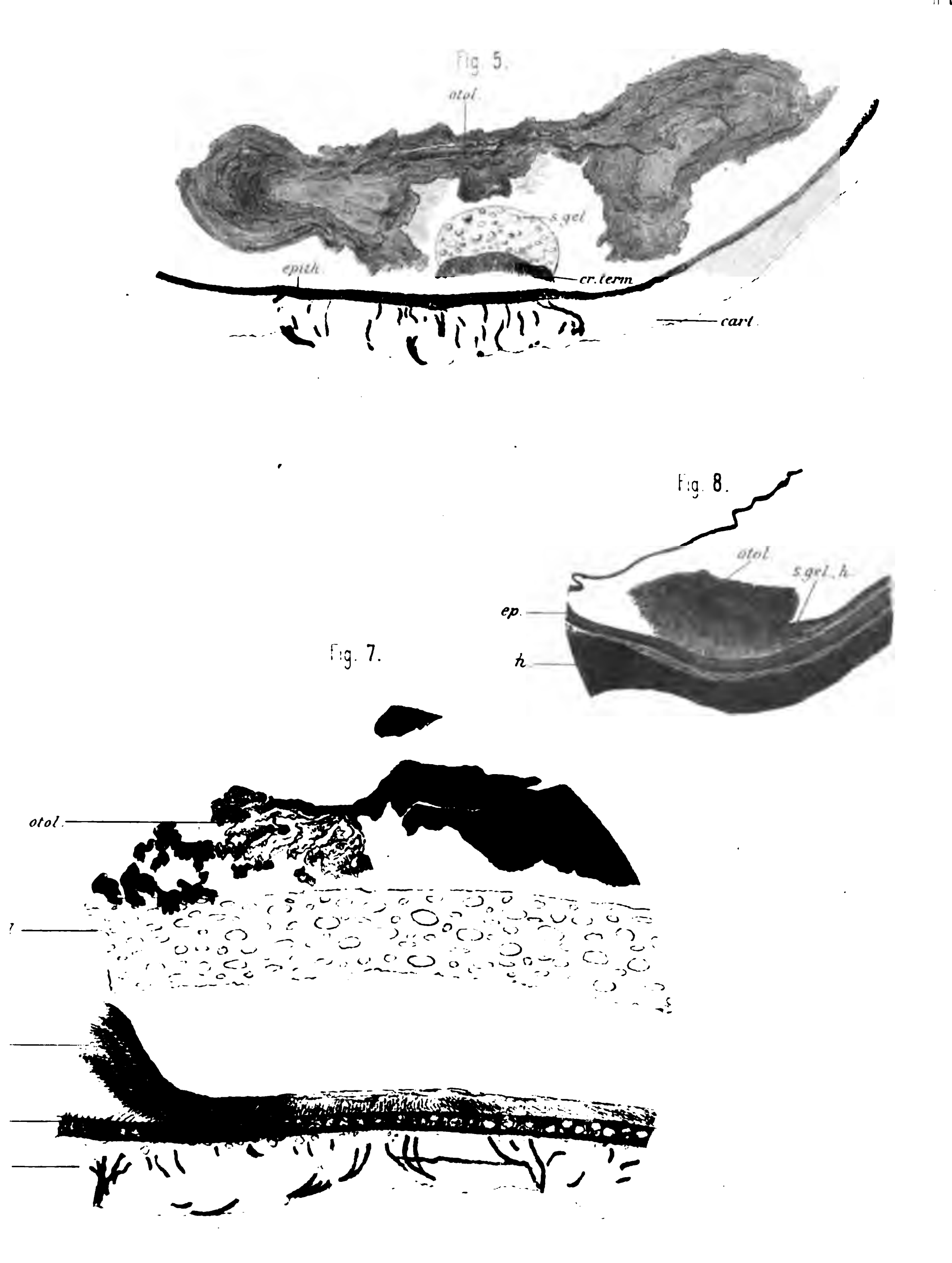
ot lagen.
cr. termin.
cart. lag.

Fig. 6.

otol.
s. gel.
term.
epith.
cart. sacc.

sub ge
m. tector.
(cr. term.)
epith.
cart

Darmstadt.



Verlag v. Emil Strauss Bonn

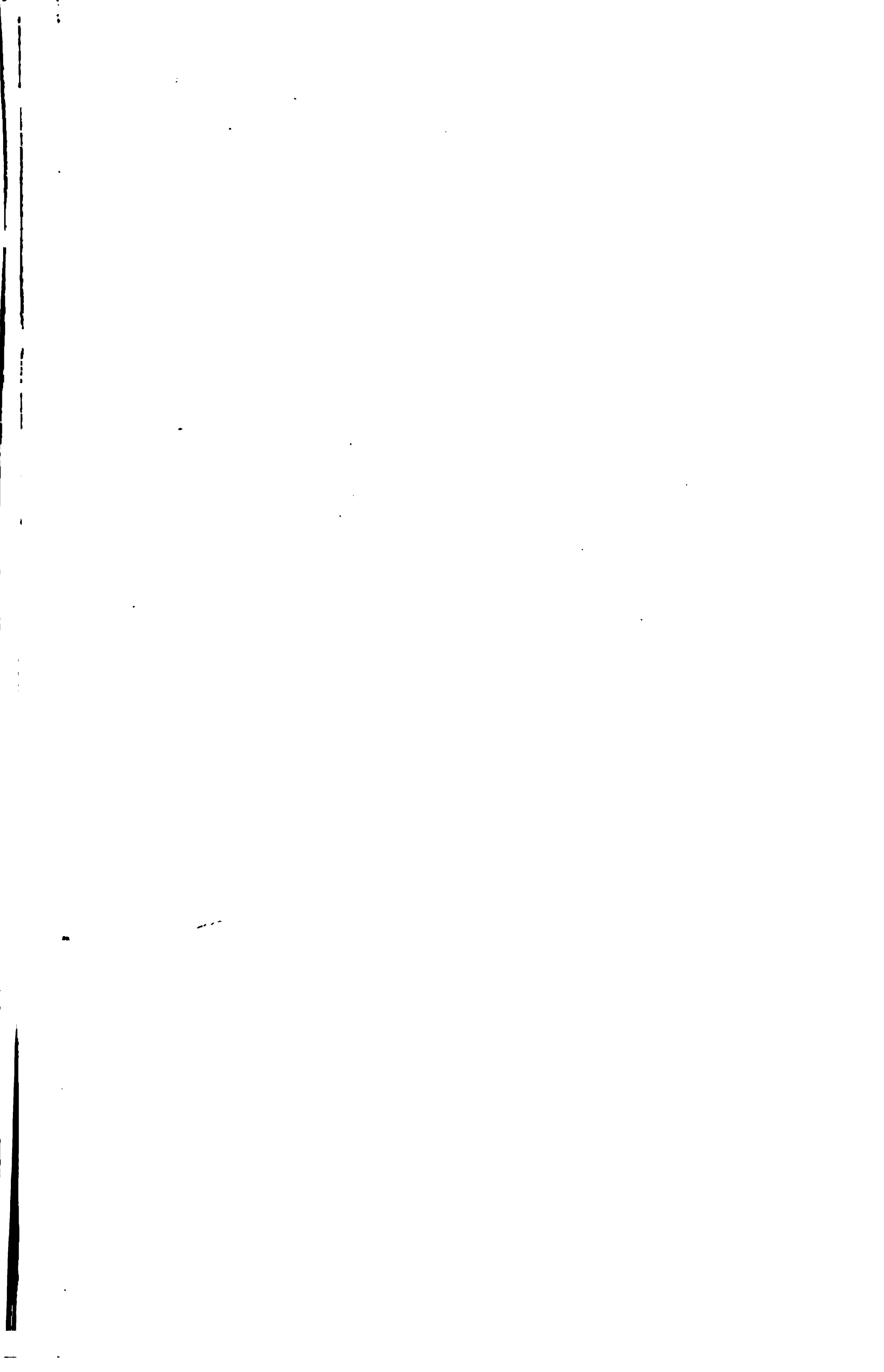


Fig 9.

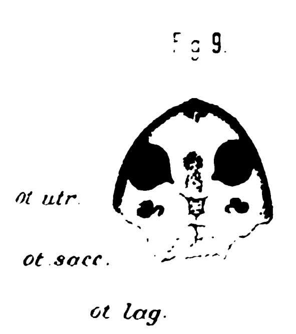


Fig 10

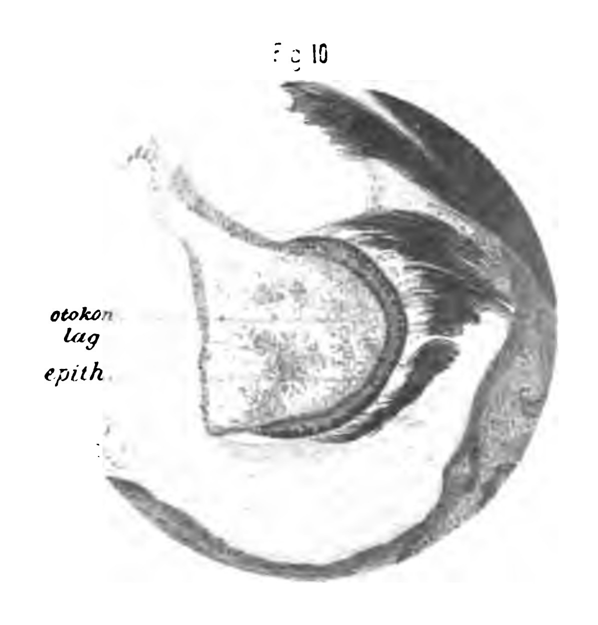
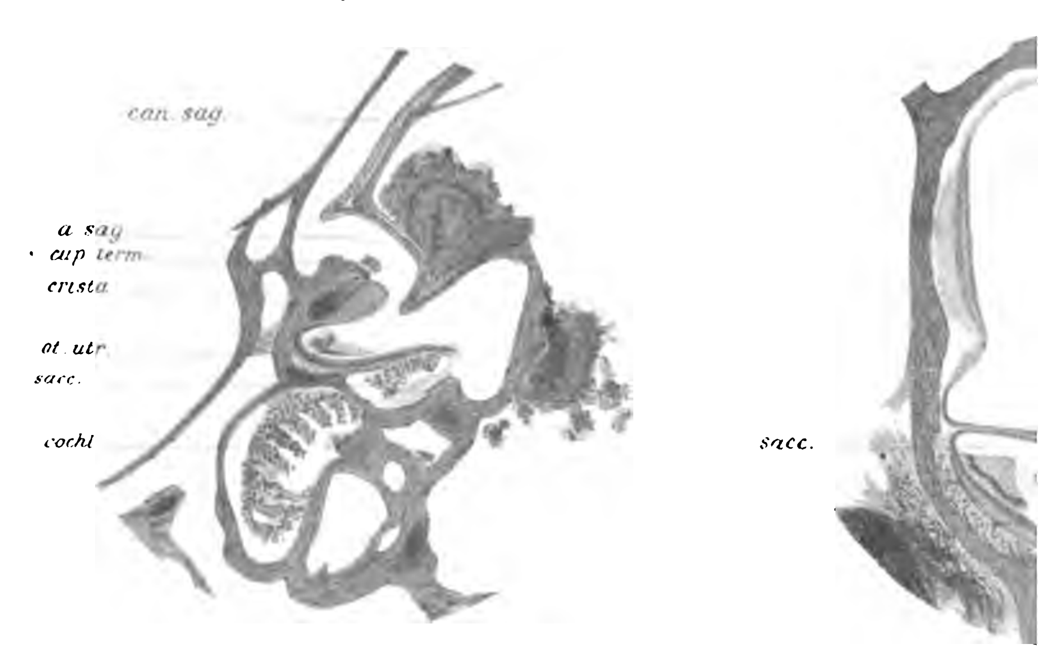
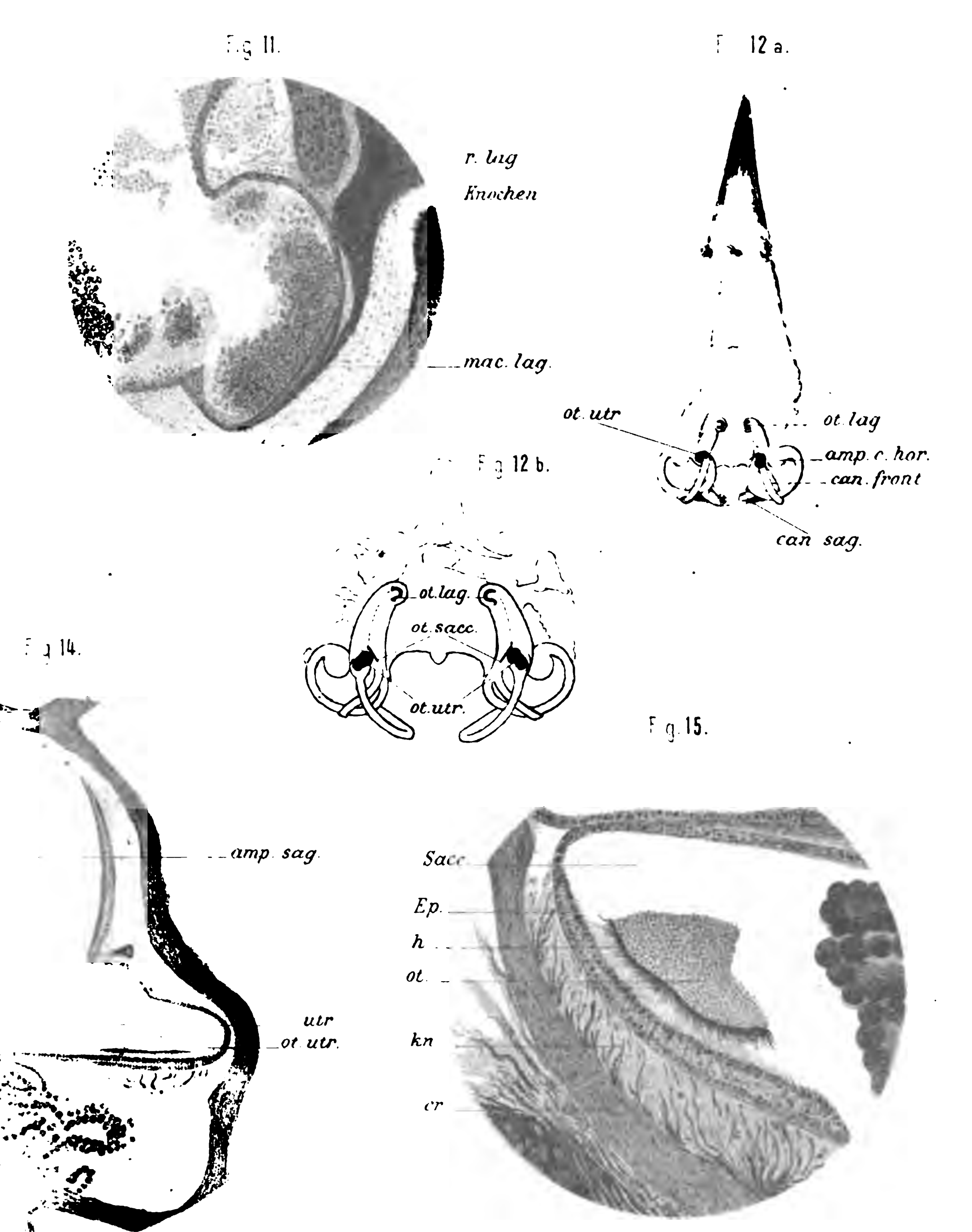
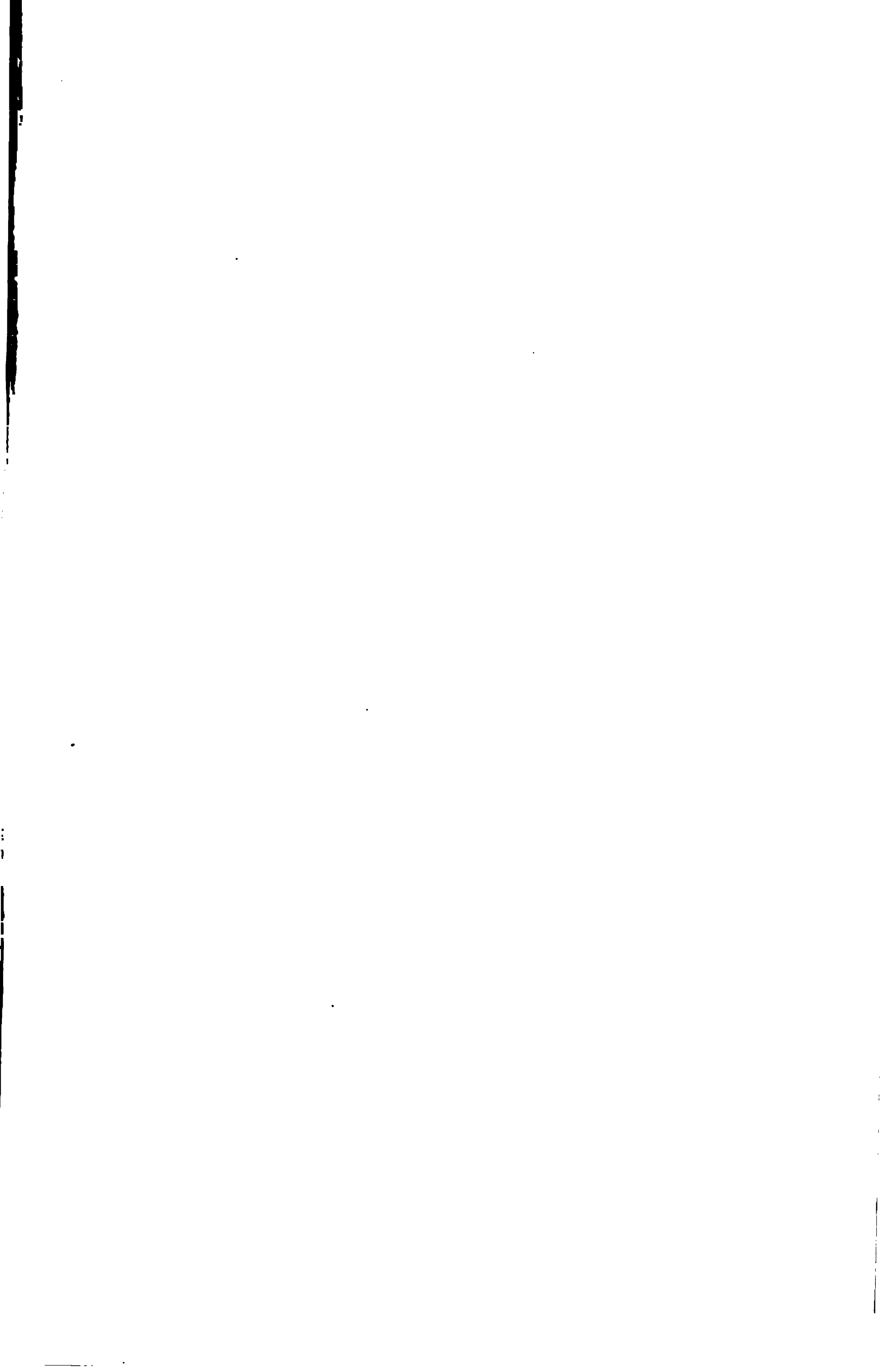


Fig 13.





Verlag v. Emil Strauss ...



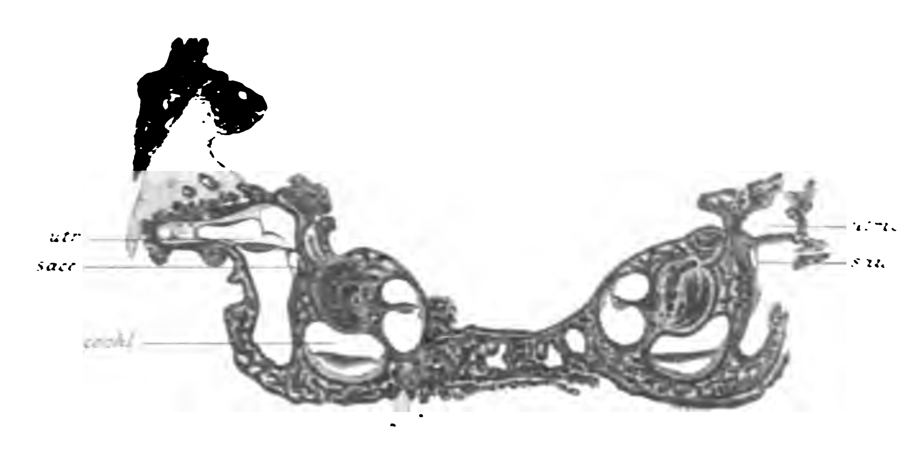


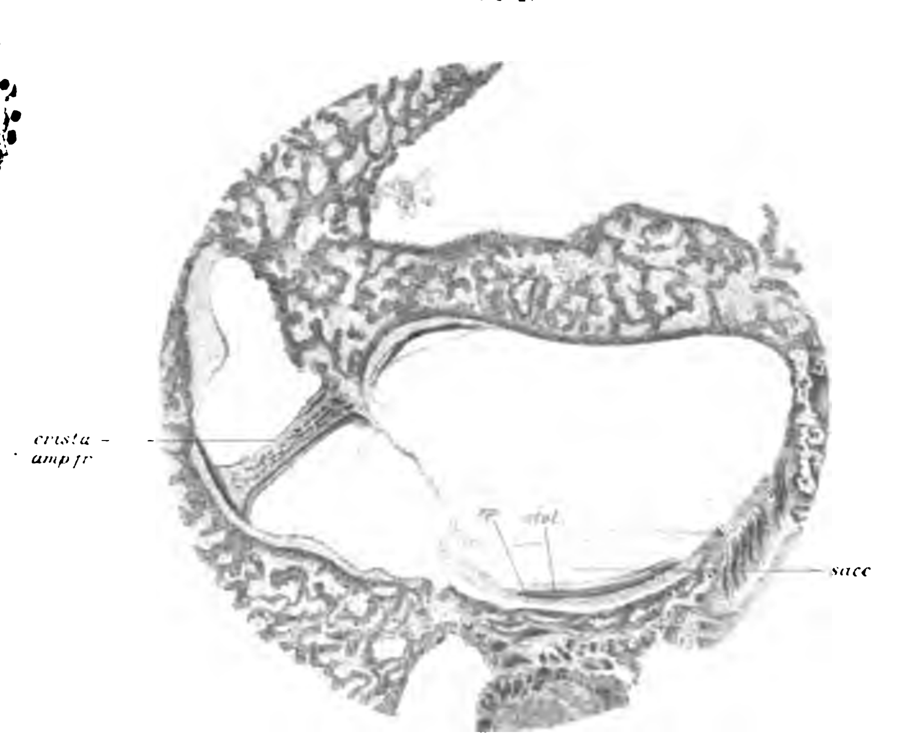


20

h

utr
st
f ov
sacc
cochl
f rot


utr
sacc
cochl


crista
amp fr
sacc



(Mittheilung vom Laboratorium des Prof. Peter Albertoni in Bologna.)

Wirkung des Cocains auf die Contractilität des Protoplasma.

Von

Prof. **Peter Albertoni.**

I. Lähmende Wirkung des Cocains auf das Protoplasma.

Durch Untersuchungen, die unter meiner Leitung angestellt wurden, hat Sighicelli[1]) den Beweis erbracht, dass das Cocain auf das Kaninchenauge applicirt nicht nur die Sensibilität aufhebt, sondern auch die Contractilität der quergestreiften Muskeln des Augapfels und der glatten Muskeln des Sphincter iridis. Denn sie reagiren nicht mehr auf den direkten Reiz eines elektrischen Stromes. Auch wenn man eine Cocainlösung auf den Darm applicirt und diesen dann mit einem faradischen Strome reizt, erfolgt keine Zusammenziehung. Dass Anrep und Kobert der Einfluss des Cocains auf die Muskeln entging, hängt damit zusammen, dass sie die Cocainlösung nicht nach Gebühr mit der Muskelfaser in Berührung brachten. — Liess hingegen U. Mosso[2]) im künstlichen Kreislauf starke Cocaingaben auf die Gefässwand einwirken, so beobachtete er die Lähmung von deren glatten Muskelfasern.

Wenn die Muskelfaser eine Protoplasmamasse ist, so liess sich an der Hand der eben angeführten Resultate erwarten, dass das Cocain ein protoplasmatisches Gift im physiologischen Sinne sei. Mit dieser Vermuthung stimmen die später von Tumass, Bianchi e Giorgieri, Carvalho, Aducco veröffentlichten Be-

---

1) Sighicelli Celsus, Beitrag zur Kenntniss der physiologischen Wirkung des Cocains. — Annali di Chimica e di Farmacologia. 1885. Seite 350. Milano.

2) Atti della reale Accademia dei Lincei. Vol. III.

Fig. 1.

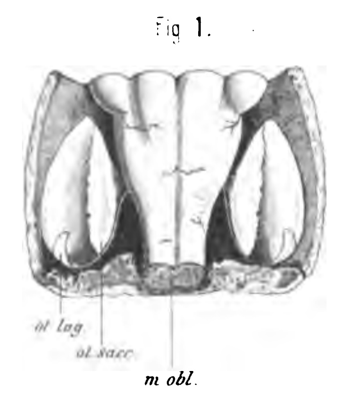


Fig. 2.

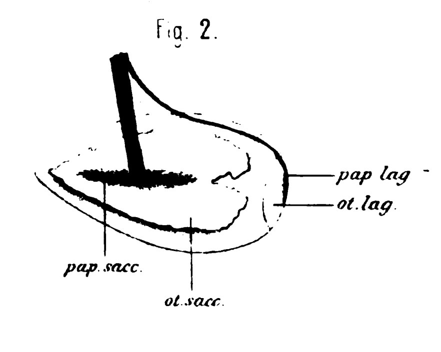


Fig. 3.

cerebr.
lag.
ot. lag.
sacc.

Fig. 4.

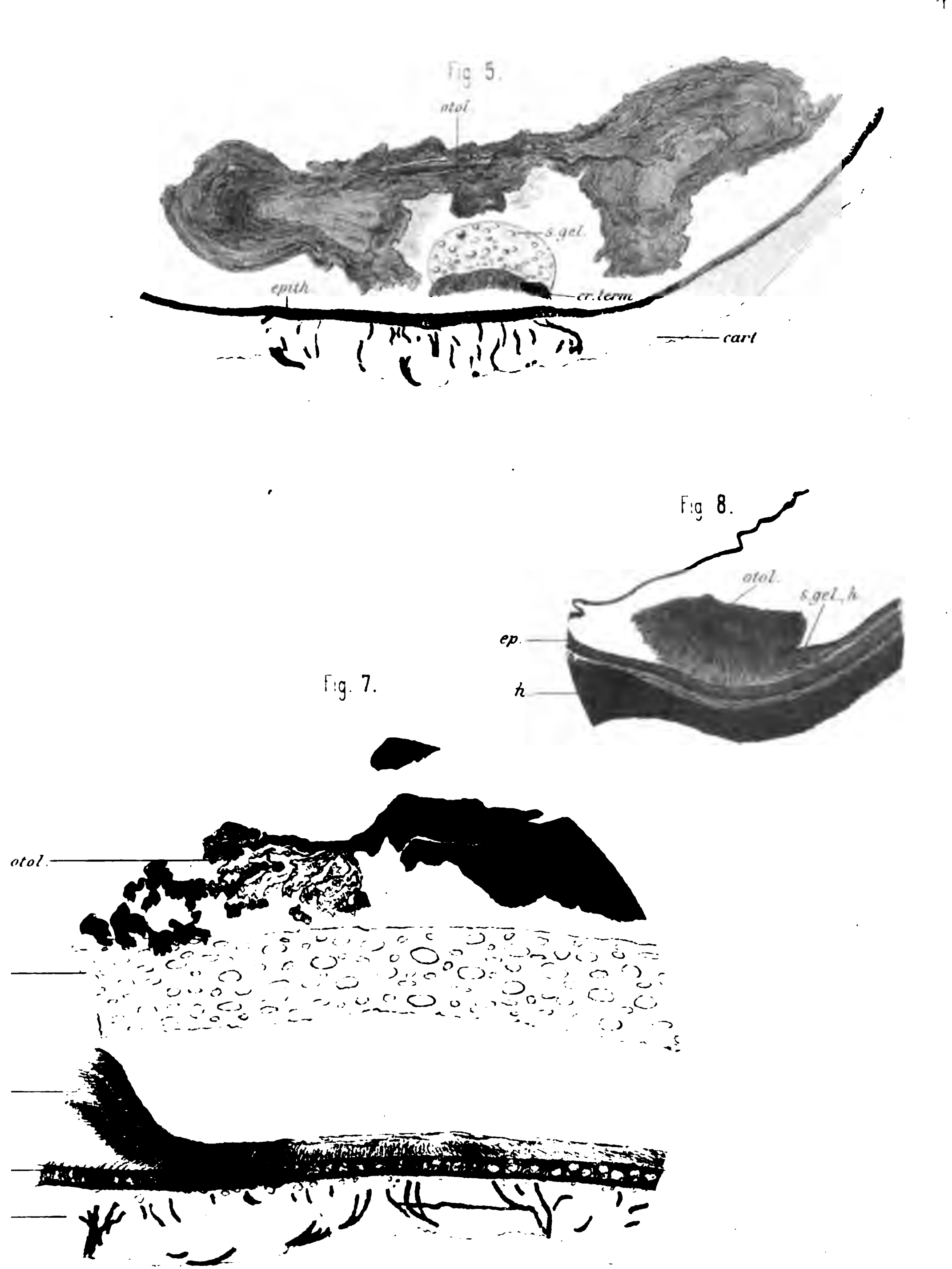
s. gel.
h.

ot lagen.
cr. termin.
cart. lag.

sub gel
m. tector.
(cr. term.)
epith
cart

Fig. 6.

otol.
s. gel.
term.
epith
cart. sacc.


Fig. 5.
otol.
s.gel.
epith.
cr.term.
cart.
Fig. 8.
otol.
s.gel.h.
ep.
h.
Fig. 7.
otol.

Verlag

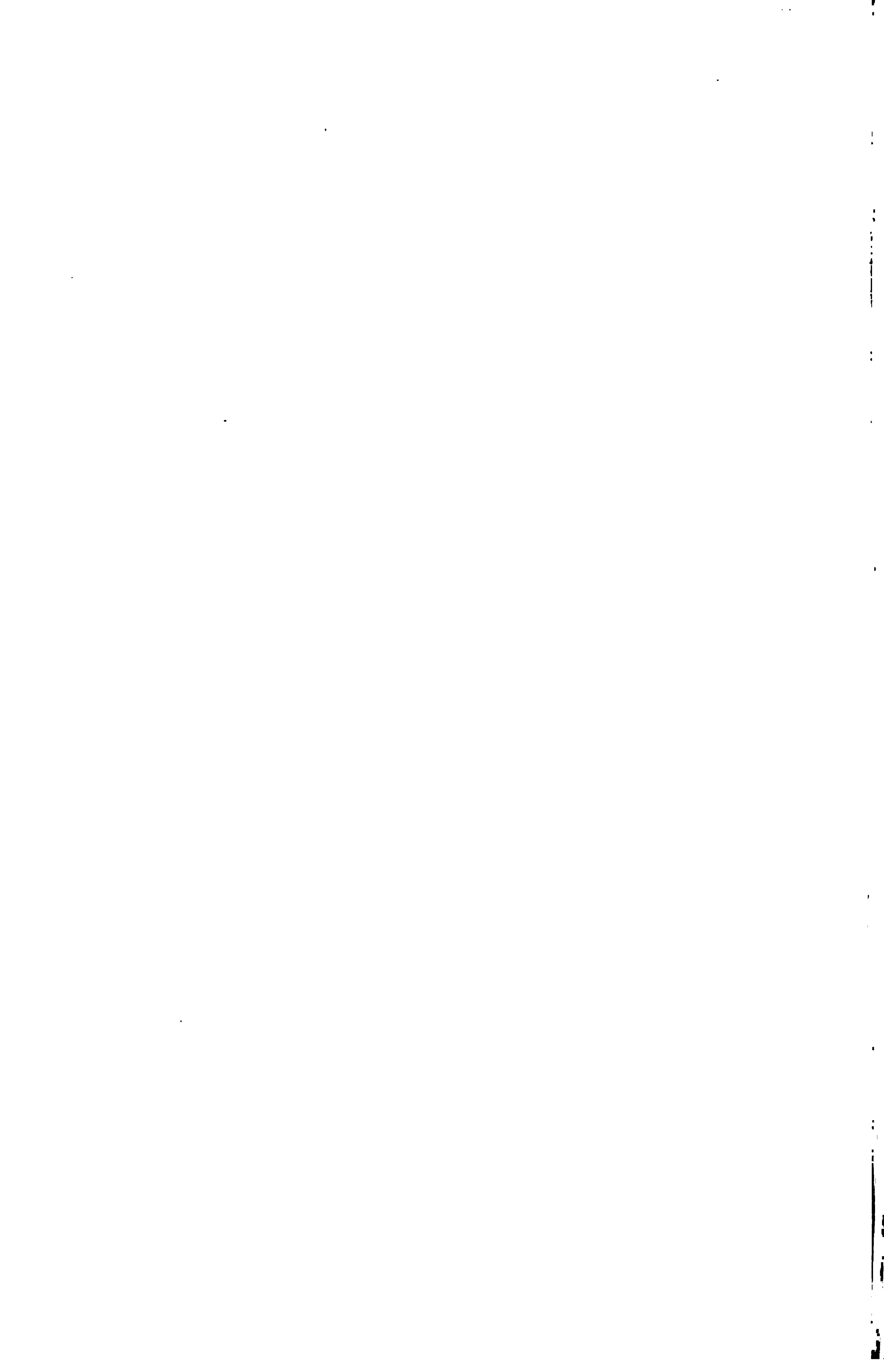




Fig 9.

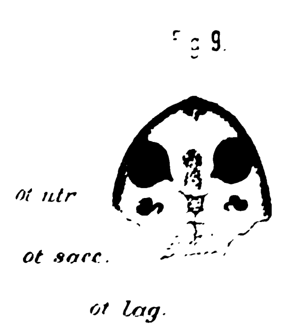


Fig 10

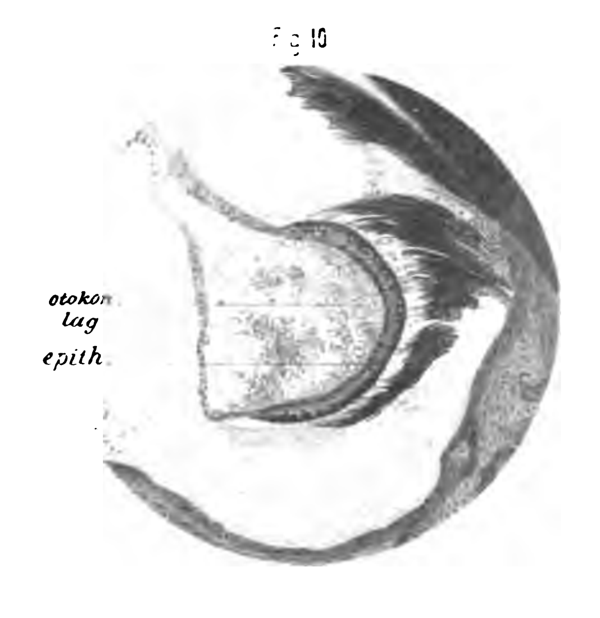
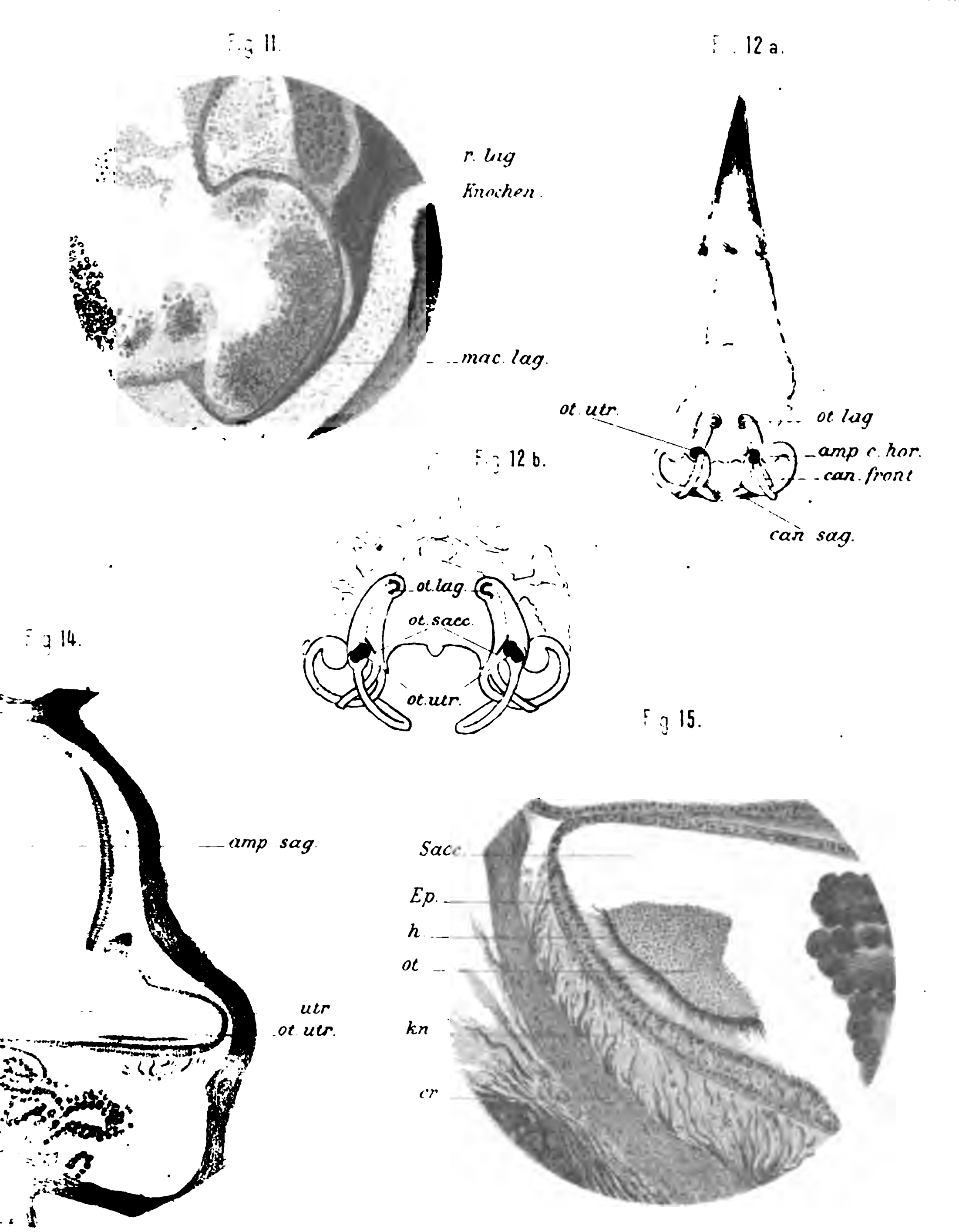


Fig 13.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt


Fig. 11.
r. lag
Knochen
mac. lag
Fig. 12 a.
ot. utr.
ot. lag
amp. c. hor.
can. front
can. sag.
Fig. 12 b.
ot. lag.
ot. sacc.
ot. utr.
Fig. 14.
amp. sag.
utr
ot. utr.
Fig. 15.
Sacc.
Ep.
h.
ot
kn
cr

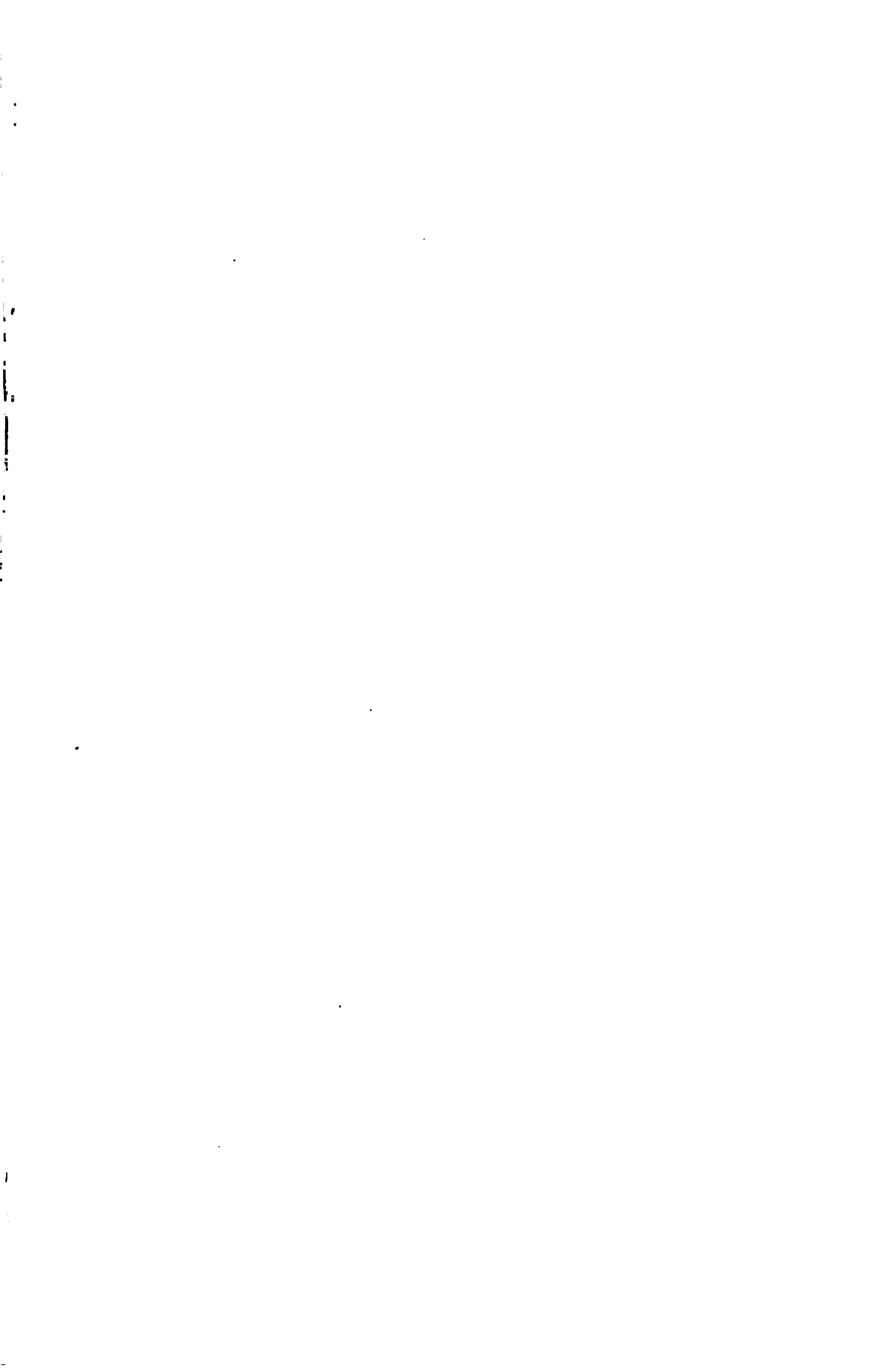


Fig. 16.

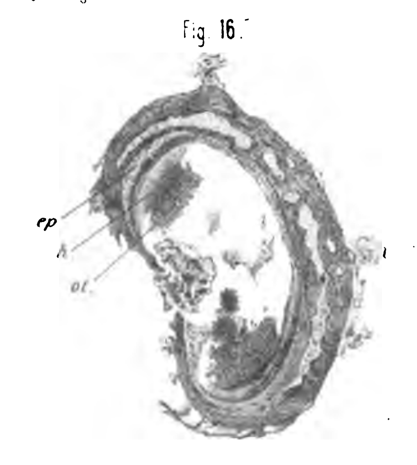


Fig. 17.

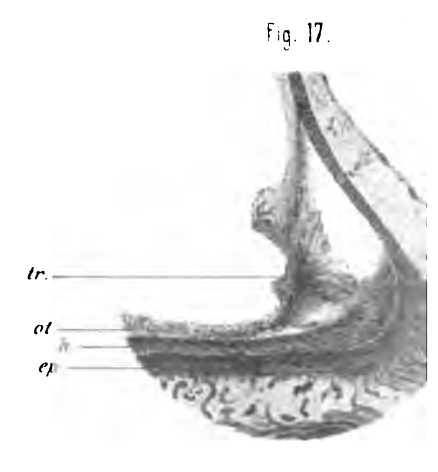


Fig. 20.

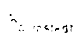
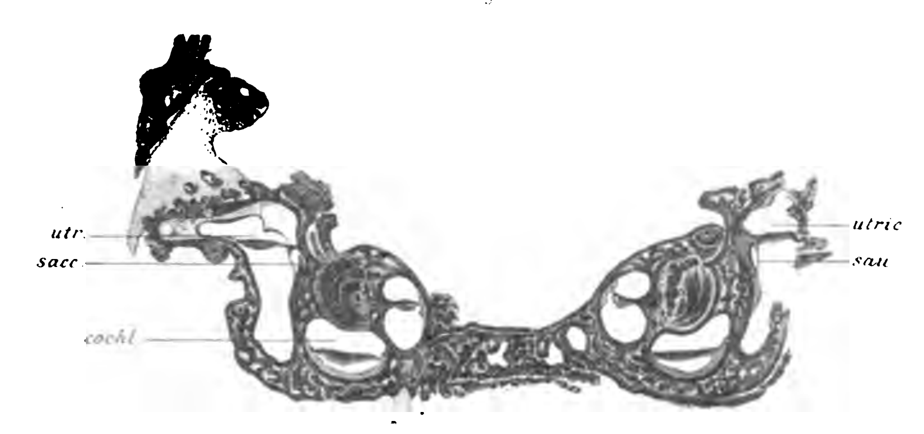
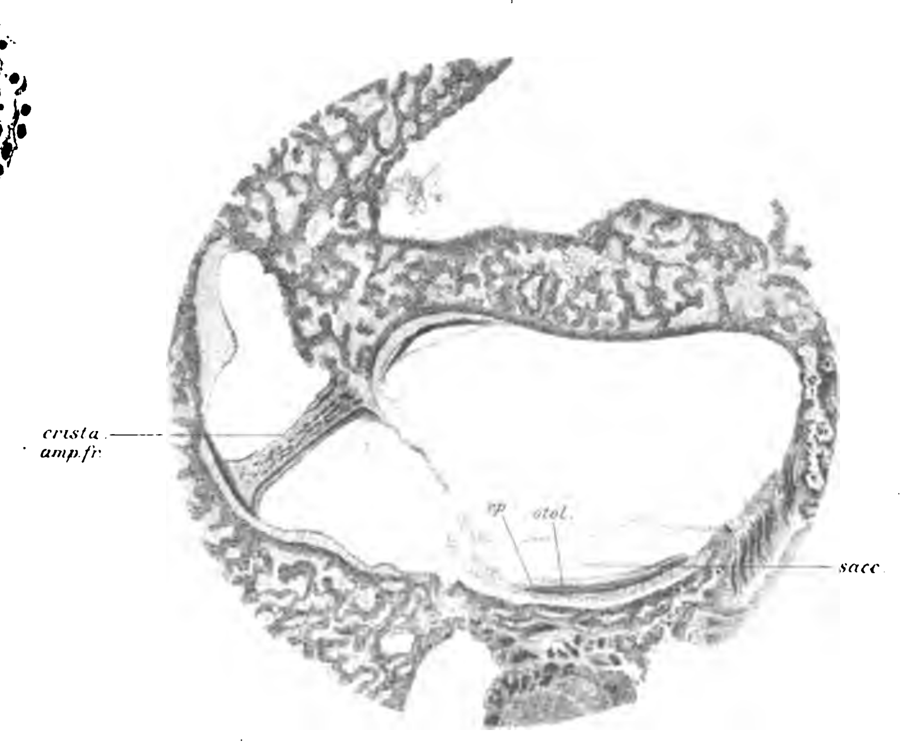


Fig. 19.



g. 18.

Fig. 21.



nach 5 Minuten kehrt die Anfangsgeschwindigkeit wieder. — Kurz, die Wirkungen des Cocains auf die Flimmerbewegungen der Zellen, welche noch mit dem lebenden Organismus im Zusammenhang sind, sind verschieden von den auf losgetrennten Zellen stattfindenden; die lähmenden Wirkungen sind transitorisch. Wichtiger ist die Thatsache, dass schwache Lösungen eine erregende Wirkung entfalten. Denn die von 0,25 % Cocainlösungen hervorgerufene Beschleunigung übertrifft die von Kochsalz bewirkte (das Vierfache im Vergleiche zum Doppelten); und die stärker erregende Wirkung erhält sich auch nach der Application einer 2% Cocainlösung.

Aber die steigende Schwächung, welche die wiederholte Erregung mit 0,25 % Lösungen nach sich zieht, lässt vermuthen, dass es sich um eine thatsächliche physiologische Wirkung handelt.

Ferner bekräftigt die Thatsache, dass die erregende Wirkung um so weniger dauert, je stärker sie ist, die Annahme, dass auch starke Lösungen ein Erregungsstadium bewirken, welches von minimaler Dauer ist.

Schlussfolgerung.

Das Cocain übt je nach der Gabe eine erregende oder eine lähmende Wirkung auf das Protoplasma aus. Natürlich ist es leichter die lähmende Wirkung nachzuweisen und sie geht aus sehr vielen Versuchen hervor:

1. Lepidopterenlarven und Amöben verlieren in physiologischer Kochsalzlösung, welche $\frac{1}{2}$—2% Cocain enthält, gar bald ihre Beweglichheit, die sie wieder erlangen, wenn sie in frisches Wasser zurückgebracht werden.

2. Die grob granulirten Blutkörperchen des Krebses machen nicht mehr jene Veränderungen durch, welche durch die amöboiden Bewegungen zustande kommen.

3. Die Zellen der in der Nickhaut des Frosches zerstreuten Schleimdrüsen reagiren nicht mehr auf den elektrischen Strom.

4. Die Spermatozoën werden fast augenblicklich unbeweglich.

5. Die Flimmerhaare hören auf sich zu bewegen und Fremdkörper weiter zu befördern.

6. Die Diapedese der Leucocyten findet nicht mehr statt.

7. Der Muskel- und Nervenstrom erlischt noch schneller.

Dieser lähmende Einfluss des Cocains auf das Protoplasma erklärt viele Wirkungen desselben: vor allem die örtliche Anaesthesie, die es hervorruft. Bekanntlich sind viele andere Anaesthetica, wie beispielsweise Chloroform und Phenol, protoplasmatische Gifte.

Der Verlust der Erregbarkeit der quergestreiften und glatten Muskeln (Albertoni, Sighicelli, U. Mosso) und die Reizbarkeit des Gehirnes (Tumass, Carvalho, Aducco) hängt offenbar zusammen mit derselben lähmenden Wirkung des Cocains aufs Protoplasma. Man wäre verleitet einen Unterschied zwischen Protoplasma der sensiblen und motorischen Elemente deshalb anzunehmen, weil das Cocain die Sensibilität aufzuheben, die Motilität zu erhalten scheint. Aber der Unterschied ist nur ein scheinbarer: denn Alms[1]) hat gezeigt, dass allerdings zuerst die sensiblen, aber später auch die motorischen Nerven angegriffen werden. Diese Unterschiede sind leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, wie sich die Substanz gegen Protoplasma verhält; denn die Raschheit der Wirkung ist nicht dieselbe bei den Spermatozoën, bei den Flimmerhaaren und bei den Fäulnissbacterien.

Die erregende Wirkung des Cocains auf das Protoplasma erhellt aus der erhöhten Intensität und Geschwindigkeit der Flimmerbewegung und der erregenden Wirkung auf die Muskeln. In allen diesen Fällen handelt es sich um eine rein physiologische Wirkung, welche sogleich verschwindet, sobald die Substanz entfernt ist und die ursprünglichen Bedingungen wieder hergestellt sind. Natürlich lassen sich aus diesen Elementarwirkungen die allgemeinen Wirkungen des Cocains herleiten; denn alle Funktionen hängen mit der Eigenschaft des Protoplasma zusammen. Und mit Recht hatte Mantegazza die wunderbaren Eigenschaften dieser Substanz gepriesen.

Anmerkung: Nachdem dieser Vortrag in der Academie gehalten worden war, veröffentlichte Dr. U. Mosso in den Nr. 1, 2, 4, 5, 6 der Zeitschrift der medicinischen Akademie zu Turin zwei schöne Arbeiten über das Cocain, in welchen die Substanz von einem anderen Standpunkte behandelt wird, aber viele Thatsachen mit meinen Resultaten übereinstimmen.

---

1) Alms H., Die Wirkung des Cocains auf die peripheren Nerven: Du Bois Reymonds Arch. 1886 Suppl. B. Seite 293—310.

(Mittheilung vom Laboratorium des Prof. Peter Albertoni in Bologna.)

Einfluss des Chlornatriums auf die chemische Zusammensetzung des Gehirns.

Experimente von

Dr. **Ivo Novi.**

In meiner Arbeit[1]) über die Aenderung der Zusammenstellung des Speichels durch Modification der Blutmischung habe ich die Bemerkung gemacht, dass, wenn die Menge des im Blute enthaltenen Chlornatriums das Doppelte des Normalen erreicht, Erscheinungen allgemein erhöhter Erregbarkeit, Krämpfe, Tetanus der Athmungsmuskeln auftreten, welche allerdings zum Theile von anderen Forschern beschrieben worden waren, aber die Aufmerksamkeit der Gelehrten nicht fesselten.

In einer zweiten Abhandlung[2]) über die Wirkung der Concentration des Blutes habe ich auf Grund vieler Versuche den Ort bestimmt, wo die reizende Wirkung des Chlornatriums sich entfaltet, und soweit es wenige diesbezügliche Experimente gestatteten, angedeutet, wie man sich das Wesen und den Mechanismus der Wirkung des in die Blutbahn eingeführten Kochsalzes vorstellen sollte. Ich wies nach, dass sobald durch Injection von 10 % Kochsalzlösungen in die V. jugularis das Blut concentrirt worden war, die Hirnrinde ungefähr 6 % Wasser verlor und dieser Wasserverlust durfte als die Ursache der erhöhten Erregbarkeit der Rinde angesehen werden.

Aus den Versuchen ergeben sich folgende Zahlen:

1) Du Bois-Reymonds Archiv 1888 Seite 403. Archivio delle scienze mediche Vol. XII. Fasc. 7.

2) Ivo Novi: Die Concentration des Blutes als Bedingung der Reizwirkung. Lo sperimentale 1887.

Wasser %	Bemerkungen.
79,63	Gestorben infolge acuter Blutverluste.
81,70	Getödtet durch Einlassen von Luft.
76,85 75,90	Intravenöse 10% Kochsalzinjection.

Es war nothwendig, die Thatsache auf einer grösseren Reihe von Versuchen, welche auf den Fall sich beziehen würden, zu begründen. Zu diesem Zwecke nahm ich mir vor, die Kochsalzlösung direkt auf die Blutbahn des Gehirnes einwirken zu lassen durch Injection derselben in den peripheren Carotisstumpf.

Wenn thatsächlich das Gehirn es war, welches durch die Steigerung der Kochsalzmenge in einen Zustand erhöhter Erregbarkeit versetzt worden war, musste eine Injection in das Gefässgebiet des Gehirnes genügen, um die von mir beobachteten Erscheinungen herbeizuführen.

Dieses Experiment wurde zum ersten Male am 18. November 1887 angestellt an einem grossen alten Hunde, dem zwei Einspritzungen von 10% Kochsalzlösung in den peripheren Stumpf der linken Carotis gemacht wurden im Verhältnisse von 5 ccm Lösung für je 1 Kilo Thiergewicht.

Der Zeitintervall zwischen zwei Injectionen betrug 16 Minuten.

Die durch die erste Injection gesetzten Symptome waren in zwei Minuten verschwunden, die Ergebnisse waren in beiden Versuchen identisch und das Thier wurde getödtet, nachdem es wieder in den normalen Zustand zurückversetzt war. Bei der Section beobachtete ich eine trübe Schwellung in der ganzen Ausdehnung der Pia mater, sehr schönen beiderseitigen Staar und an der herauspraeparirten Linse eine Trübung, welche nur den centralen Kern betraf, während die Rindenschichte durchsichtig war. Natürlich hatte ich mich vergewissert, dass der Staar vorhin nicht existirte.

Die Bestimmung des Wassergehaltes der Rinde ergab für die rechte Hemisphäre 76,97%, für die linke 75,82%, während ich an einem gleich grossen Hunde, der getödtet wurde, in beiden Hemisphären 80,46% Wasser in der grauen Corticalsubstanz gefunden hatte. Diese Thatsachen, welche so bestimmt die in meiner oben angeführten Abhandlung geäusserte Hypothese bestätigten, theilte

ich auf dem ersten physiologischen Congress zu Basel im August 1889[1]) mit: denn sie bewiesen, dass der Sitz der durch Chlornatrium gesetzten Erregung zu Zuckungen und Krämpfen die Hirnrinde war, und dass das Wesen der Kochsalzwirkung zum Theile wenigstens auf Wasserentziehung zurückzuführen war. Gegen diese Erscheinung erhob Dr. Loye in Paris den Einwurf, dass schon Dubois beobachtet hatte, wie die bei der Chloroformvergiftung auftretenden Zuckungen mit Wasserverlust im Gehirne einhergehen: diese Arbeit war und blieb mir unbekannt, obwohl Loye auf mein Ersuchen hin mir versprochen hatte, sie mir zu verschaffen. Was ich aber damals Loye entgegnete, bewahrt noch heute volle Giltigkeit. Ich hatte nämlich keinen Grund zu zweifeln, dass im ersten Stadium der Chloroformnarcose ein Wasserverlust im Gehirne im Spiele sei, aber diese Erscheinung kam mir sonderbar vor und wich jedenfalls insoferne von meinem Falle ab, als es sich bei diesem um die Einführung einer wasseranziehenden Substanz wie Kochsalz in den Kreislauf handelte, während das Chloroform in Wasser fast unlöslich ist und darum ganz anders wirken muss. Daraus ergab sich mit Sicherheit, dass der Wasserverlust im Gehirne durch Chloroform auf einer ganz anderen Eigenschaft, als auf der hygroskopischen beruhe, und desshalb meinte ich, dass die von mir und Dubois beobachteten Thatsachen nicht von demselben Gesichtspunkte aus beurtheilt werden durften. Ich nahm diese Versuche lange Zeit darnach wieder auf und bemerkte, dass sie recht wohl auf die Idee passten, mit der ich mich jetzt trage.

Vor allem wird es angezeigt sein, über die Art und Weise, wie ich bei der Vivisection und bei der Bestimmung des Gehaltes der Gehirnsubstanz an Wasser, Chlor, Natrium und Kalium vorging, zu berichten.

Es war mir daran gelegen zu untersuchen, ob der Wasserverlust, den das Gehirn erfuhr, vergesellschaftet war mit dem Eintritte von Chlornatrium und infolgedessen mit einer Zunahme des Chlorgehaltes, und zweitens ob die Zufuhr des Kochsalzes oder die Berührung mit dem im Gefässsystem circulirenden Chlornatrium gewisse Wechselwirkungen mit dem in dem Gewebe reichlich ver-

---

1) Separatabdruck aus dem Centralblatte für Physiologie vom 12. October 1889 Heft 14 S. 19—20.

tretenen Kalium bestimmen könnte, endlich mit welcher Geschwindigkeit diese Wechselwirkungen eintraten und ob sie nach einer einzigen Injection erfolgten.

Als Ausgangspunkt wählte ich die Untersuchungen an mehreren gesunden Hunden, welche getödtet und mit jenen in Parallele gestellt wurden, an denen Injectionen mit Kochsalz geübt wurden. An diesen wurde eine Carotis isolirt, in den peripheren Stumpf eine Canüle und in diese eine bestimmte Menge Kochsalzlösung, welche aus reinem Kochsalz bei 39° Temperatur hergestellt war, eingeführt. In einem Falle erprobte ich die Wirkung der physiologischen Kochsalzlösung bei verschiedenen Temperaturen und in verschiedenen Quantitäten und auch den Einfluss des Trinkwassers.

In diesem Falle fand ich, dass das Thier schon am Beginne der Einspritzung vier bis fünf mal tief Athem holte, um gleich nach beendeter Injection in den normalen Zustand zurückzukehren; nie erfolgten Krämpfe oder Tetanus. Bei Injection von Kochsalz hingegen beobachtete ich gleich von allem Anfang die Entstehung ausgedehnter Krämpfe, welche sogleich von allgemeinem Tetanus begleitet waren, der auch die Athemmuskeln ergriff.

In diesem Stadium verblieb das Thier höchstens 1—2 Minuten, wenn die Injection sehr stark war, das Bewusstsein war verloren, die Cornea unempfindlich oder besser gesprochen der Cornealreflex fehlte bei starker Erweiterung der Augenlidspalte. Nach dem Ablauf dieses Stadiums begannen tiefe Athemzüge, welche immer rascher wurden bis zur Rückkehr zum Normalen. Das erfolgte ungefähr innerhalb der zweiten Minute, worauf das Thier durch Lufteintritt in eine Jugularvene getödtet wurde.

Gleich darauf wurde der Kopf vom Stamme abgetrennt und frei aufgehängt, damit das ganze im Strombette zurückgebliebene Blut abfliessen könnte. Sobald kein Blutstropfen mehr hervorquoll, wurde die ganze Gehirnmasse herausgenommen, möglichst rasch und sorgfältig die Gefässe und Hirnhäute entblösst, mit der Vorsicht eine Hemisphäre unter einer feuchten Kammer aufzubewahren, während die andere präparirt wurde. Wenn man nur die graue Substanz präpariren wollte, wurde dieselbe stückweise mit einer Scheere abgetragen, ohne weisse Substanz mitzunehmen. Allerdings wurde ein sehr kleiner Theil letzterer der Analyse unterworfen, war aber nie so beträchtlich, dass man sie hätte berück-

sichtigen müssen. Auch die geschweiften Kerne (Nuclei caudati) wurden so isolirt, dass ein kleiner Theil der Substanz selbst verloren ging, dafür aber nicht weisse Substanz beigemischt war. Die Gewichtsbestimmung des frischen Materials erfolgte in Uhrgläsern, welche 24 Stunden bei 90° im Luftbade aufbewahrt und dann über Schwefelsäure oder porösen Chlorcalcium getrocknet wurden, so lange als man einen Gewichtsverlust wahrnahm.

Die getrocknete Substanz wurde in Barytwasser aufgelöst und als breiige Masse in einen Platintiegel übertragen.

Das Baryt war in möglichst kleiner Menge genommen, um das Platin vor der raschen Einwirkung der Phosphorsäure zu schützen, welche bei der Veraschung der Nervensubstanz sich entwickelt. Nachdem die Masse verkohlt und der wässerige Auszug der Kohle wenigstens zweimal filtrirt worden war, wurde alles zu einer einzigen Flüssigkeit vereinigt, in der natürlich durch die Berührung mit der Atmosphäre entstandenes kohlensaures Baryum suspendirt war.

An einer gewogenen Partie dieser Mischung wurde die Bestimmung des Chlors nach der Volhard'schen von mir modificirten Methode[1] vorgenommen, an dem Reste die Bestimmung des Kalium und Natrium. Zu diesem Zwecke wurden beide Metalle als Chlorverbindungen nach den Angaben Fresenius[2]) und Hoppe-Seylers[3]) isolirt.

Die Lösung der Asche wurde mit Chlorbaryum und etwas Salzsäure versetzt, und der Niederschlag sich selbst überlassen, worauf er durch Filtration getrennt wurde.

Mit Barytwasser wurde das Filtrat auf starke alkalische Reaction gebracht und der Niederschlag von Magnesium und Calcium durch Filtration entfernt. Zuletzt wurde Ammoniak und Ammoniumcarbonat zugesetzt, und durch eine dritte Filtration der Baryt als Baryumcarbonat und etwaige kleine Eisenmengen entfernt. Das klare Filtrat wurde bis zur Trockne gedampft, wieder aufgelöst und filtrirt, bis die Lösung vollständig klar war, und

---

1) Siehe meine oben erwähnte Arbeit über „Aenderung der Zusammensetzung des Speichels etc. pag. 150—191. Archivio delle Scienze Mediche.

2) Fresenius: Anleitung zur quantitativen chemischen Analyse VI. Auflage Seite 214 u. folgende. I. Bd.

3) Hoppe-Seyler: Handbuch der physiologisch-pathologisch-chemischen Analyse Seite 325.

endlich in einen Platintiegel gebracht, wo es langsam vollständig getrocknet wurde bis zum Verschwinden des Ammoniumchlorides. Hierauf wurde es bis zur Rothglühhitze geschmolzen und unter dem Trocknungsapparate erkalten gelassen. Schliesslich wurde es gewogen.

Alle Niederschläge wurden so lange gewaschen bis das Waschwasser nicht eine Spur Chlor enthielt. So erhielt man das ganze Kalium und Natrium als Chloride. Man bestimmte den Gehalt derselben an Chlor und berechnete nach der von Fresenius[1]) angegebenen Formel die Kochsalzmenge und daraus durch Abziehen die Chlorkaliummenge. Aus den Chloriden wurde der Percentgehalt an Kalium und Natrium der genommenen Hirnsubstanz berechnet. In einigen Fällen bestimmte ich das Chlor an der gesammten untersuchten Hirnmasse und bediente mich der Chlorsilbermethode. In diesem Falle setzte ich etwas Salpetersäure dem wässerigen Auszug der Asche zu, um das kohlensaure oder phosphorsaure Silber, welches sich etwa gebildet hätte, zu lösen und da infolgedessen die Darstellung der Chloride viel schwieriger, weitläufiger und für die Platingeräthschaften gefährlich war, isolirte ich das Natrium und Kalium als Sulfate, indem ich die Ueberschüsse dem trockenen Rückstande des oben erwähnten letzten Filtrates Schwefelsäure zusetzte. Um nur die neutralen Sulfate zu erhalten, fügte ich Stückchen Ammoniumcarbonat zu, während der Tiegel zur Rothglühhitze so lange erhitzt wurde, bis kein Gewichtsverlust eintrat. Nach einer analogen Berechnung wie bei den Chloriden wurden die Sulfate des Kaliums und Natriums bestimmt, indem man sich bei der Berechnung der in Form von Baryumsulfat bestimmten Schwefelsäure bediente.

Bei dieser Bestimmung, welche, wie Fresenius richtig bemerkt, sehr einfach und präcis zu sein scheint, thatsächlich aber sehr bedeutende Fehlerquellen in sich birgt, wusch ich das schwefelsaure Baryum mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure, um fremde etwa darin enthaltene Salze zu lösen. Die analytischen Methoden sind lang und umständlich; ich habe in dieselben Vertrauen gesetzt, weil sie in meinen Händen zu genaueren Resultaten geführt haben, als die Methode des Kaliumplatinchlorides, welche ausser-

---

1) Fresenius citiertes Werk Seite 130—131 Bd. II.

dem etwas kostspieliger ist. Ich führe die Controlversuche beider Prozesse an:

A. Prozess der Chloride.

NaCl	40—9,6168	KCl	30—4,514
rein, trocken	40—9,6198	rein, trocken	30—4,5199
	gr. **0,0030**		gr. **0,0059**

Summe der Chloride.

gr. 0,0089 = Chlor gr. 0,00461.

Bestimmung des Chlors als Chlorsilber,

Filter u. Filterträger = 30—3,275

id. mit AgCl = 30—2,2568

AgCl = 0,0182 = Chlor gr. 0,0045017

Bestimmung des Chlors nach der Methode von Volhard

Normallösung $AgNO^3$ cc. 51

100

Schwefelcyan cc. 37,8

cc. 13,2 = Chlor gr. 0,00467

Berechnung.

[(0,00467 × 2,1035) — 0,0089] 3,6358 = **0,0033** NaCl

durch Subtract. = **0,0056** KCl

B. Prozess der Sulfate.

NaCl 40—9,7376

trocken, rein 40—9,7704

gr. 0,0328 entsprechen { Na gr. **0,01291** / Na^2SO_4 0,0398 }

KCl 30—4,7133

trocken rein 30—4,7425

gr. 0,0292 entsprechen { K gr. **0,01582** / K_2SO_4 0,0342 }

Summe der berechneten Sulfate gr. 0,074

Tiegel	= 41,3334	Tiegel	= 41,3332
id. mit Sulfaten	= 41,4060	mit $BaSO_4$	= 41,4441

Summe gewaschener Sulfate 0.0726

0,1109

Asche des Filters 0,00189

$BaSO_4$ 0,10901

entsprech. SO_4 gr. 0,0449

Berechnung.

$[(0,0449 \times 1,81312) - 0,0726] \times 4,42919 = Na_2SO_4$ gr. 0,0389
u. durch Unterschied K_2SO_4 0,0337

Man erhält Na gr. **0,0126**
K gr. **0,0151.**

Ich glaube, dass diese Versuche ziemlich zuverlässig sind sowohl wegen der erhaltenen Resultate als der kleinen Menge untersuchter Substanz. Bevor ich die Ergebnisse der Versuche auseinandersetze, muss ich speciell einen Versuch hervorheben, der am 9. Februar 1888 in der Weise geführt wurde, dass einer kleinen Hündin, welche 4,200 kg wog, 3 mal Kochsalzlösung injicirt wurde so, dass sie 30 cc. Lösung auf 1 kg Thier erhielt. Die Hündin starb während der dritten Injection, und man fand, dass die Hirnrinde 80,08 % Wasser und die sehr beträchtliche Menge 0,4396 Chlor enthielt. Diese zweite Erscheinung erklärt sich sehr leicht, wenn man bedenkt, dass eine bestimmte Menge Kochsalzlösung im Strombette des Blutes geblieben sein muss, weil eben der Tod während einer Injection erfolgte. Was den Percentgehalt an Wasser anbelangt, müssen wir bemerken, dass die Quantität eingespritzter Lösung enorm war und dass sich wahrscheinlich in diesem Falle das von Frank in betreff der Lungen beschriebene Oedem entwickelt hat. Indess könnte man glauben, dass das ganze gefundene Wasser in diesem Falle der Rinde angehöre und nicht herstamme von ödematöser Zunahme der Interstitialflüssigkeit und in diesem Falle müsste man annehmen, dass dieses Resultat den anderen gegenüber eine Ausnahme sei und deren Giltigkeit in Frage stelle. Es bedarf nicht viel Scharfsinnes die Hypothese zu widerlegen; denn das Thier starb während der Injection der Kochsalzlösung, war also nicht unter den Bedingungen, die eine streng richtige Bestimmung des Wassergehaltes der Gewebe erlaubt hätten.

Denn es leuchtet ein, dass das Einströmenlassen von Luft in den centralen Stumpf einer Jugularvene vor allem den Kreislauf in den Lungen und den freien Abfluss des aus den Geweben zurückströmenden Blutes in den rechten Vorhof hemmt. Der Lungenkreislauf führt baldigst kein Blut mehr in den linken Vorhof, die Arbeit des linken Ventrikels wird zwecklos, die Körperarterien sind leer, während die Venen sich ziemlich rasch nach erfolgter Enthauptung entleeren. Unter solchen Bedingungen, die in unseren

Versuchen vorherrschten, bleibt kein Blut im Gehirne, aber wenn der Tod nicht infolge dieses Prozesses eintritt, sondern durch den im ersten Momente von der Kochsalzlösung gesetzten Reiz oder durch die Paralyse, welche auf dieses Reizstadium folgt, und man andererseits fortfährt die Kochsalzlösung in die Carotis zu injiciren, ist ersichtlich, dass das Endergebnis sowohl betreffs des Chlorgehaltes als auch des Wassergehaltes wesentlich geändert ist.

Dieser Versuch gebietet uns die Vorsicht nicht zu starke Mengen Kochsalzlösung einzuspritzen und es so einzurichten, dass das Thier das Experiment überlebt und erst dann getödtet wird, wenn die Phase des allgemeinen Tetanus abgelaufen ist, die Athembewegungen wiederhergestellt sind und man berechtigt ist anzunehmen, dass mit dem Blute die gesammte Kochsalzlösung, die sich im Strombette befand, fortgeschwemmt worden sei.

Im Gesammtprospecte führen wir die drei ersten Versuche an und bemerken gleich jetzt, dass in dem Falle der stärksten Wasserentziehung der Gehalt der Rinde an Chlor 0,1538 auf der Seite der Injection betrug und 0,1691 auf der entgegengesetzten Seite, während de norma das Verhältniss in gesunden Hunden zwischen 0,1254—0,1375 schwankt. Um eine Vorstellung zu geben von dem Verlaufe des Versuches und von dem Phänomenenbilde, welches bei der Injection von Kochsalz in den peripheren Carotisstumpf beobachtet wird, halte ich es für angezeigt, aus meinem Tagebuche das zu entnehmen, was den sechsten Versuch, dem alle anderen analog sind, betrifft:

27. Februar 1890. Bastardhund kg 19.

Um 10.22 Uhr Vormittags wurde die linke Carotis präparirt und 6,5 ccm Kochsalzlösung bei 38° injicirt. Das Thier ist sehr aufgeregt, hat aber weder Krämpfe noch Zuckungen; nach einer halben Minute ist es schon ruhig. Um 10.25 Uhr werden 29,6 ccm Lösung injicirt. Sogleich beobachtet man sehr starke Athembewegungen, die unteren Extremitäten sind von Extensionstetanus ergriffen. Um 10.26 Uhr hat der Tetanus vollkommen aufgehört, das Thier ist wieder ruhig geworden, die Athemzüge regelmässig. Es werden andere 20 ccm Lösung eingespritzt und es treten wieder die beschriebenen Erscheinungen auf, wickeln sich aber schneller ab. Um 10.29 Uhr Injection von 36 ccm Lösung. Nach 4 bis 5 sehr tiefen Athembewegungen herrscht ein allgemeiner Tetanus, welcher auch die Athemmuskeln ergreift und bis 10.30

Uhr dauert. Dann beginnt die Athmung wieder, anfangs sehr oberflächlich, dann immer tiefer und tiefer bis zur Rückkehr zum Normalen.

Um 10.32 Uhr, da das Thier vollkommen ruhig ist, werden 44 ccm der Lösung injicirt. Es entrollt sich das frühere Bild, der Herzschlag ist aber unregelmässig. Die Athmung hört eine Minute lang auf. Nur um 10.35 Uhr ist Ruhe wieder eingetreten und in diesem Augenblicke wird Luft in die Vena jugularis eingelassen. Man bemerkt, dass das aus derselben strömende Blut die Farbe des arteriellen hat. Um 10.38 Uhr wird das Thier enthauptet, nach einer Stunde zu anderen Zwecken enthäutet und man bemerkt, dass alle Muskeln von sehr deutlichen fibrillären Zuckungen befallen sind. In allen war sehr deutlich der idiomusculäre Wulst, der gewöhnlich eine Stunde nach dem Tode in diesen Thieren bei Wintertemperatur kaum sichtbar ist. Die enthäutete Leiche wurde dann ins Freie gebracht zu 6° T.

Um 12.10 Uhr, also ungefähr zwei Stunden nach dem Tode, war die elektrische Contractilität noch erhalten.

Diese Erscheinungen, nämlich die Farbe des venösen Blutes und die Erhaltung der Muskelcontractilität, während ich an der Hand von speciellen Versuchen constatiren konnte, dass in ähnlichen Fällen die Nerven nicht mehr erregbar waren, werden den Gegenstand anderer Experimente bilden: vorläufig will ich darauf hinweisen, dass in vielen durch Einlassen von Luft getödteten Thieren ohne Injectionen die Contractilität höchstens zwei Stunden später bei günstigen Temperaturbedingungen erloschen war. Wurde ein injicirter Hund z. B. No. 7 bei günstigen Temperaturbedingungen aufbewahrt, so war der idiomusculäre Wulst auch 5 Stunden nach dem Tode nachweisbar, und die elektrische Contractilität 6 Stunden darauf. Ich nehme mir vor, diese Erscheinungen ausführlich abzuhandeln, und bemerke, dass die erste derselben sowohl durch Anwendung von NaCl als von Chlorkalium aber in vitro zu Stande gekommen war. Nothnagel, welcher dieses Ergebniss ausführlich bespricht, sagt, dass in Berührung mit einer Chlornatrium- oder Chlorkaliumlösung das arterielle Blut heller wird, aber nicht, dass das venöse die Farbe des arteriellen annimmt, was nicht dasselbe ist. Diese Aenderung der Farbe war nicht bei allen Versuchen constant. Nun fassen wir in ein Bild die einzelnen Experimente:

Gesammtprospect der Experimente.

Rangzahl	Datum des Versuches	Menge der Lösung pro Kilo Hund	Zahl und Ort der Injectionen	Untersuchte Substanz	Analysirte Menge in Grammen	Percentgehalt an Wasser	Percentgehalt an Chlor	Percentgehalt an Natrium	Percentgehalt an Kalium	Na+K	Bemerkungen
1[1])	**4. 11. 87**	—	—	Rinde	**11,9908**	**80,46**	**0,1375**	—	—	—	Hund Kilo 20
2	18. 11. 87	5 cc	links 2	„ { rechts	8,2949	76,97	0,1691	—	—	—	Hund Kilo 25
				„ { links	8,2181	75,82	0,1538	—	—	—	
3	9. 2. 88	30 „	3	Rinde	8,7818	80,08	0,4396	—	—	—	Hund Kilo 4,200; stirbt während der dritten Injection
4	**29. 5. 90**	—	—	„	**17,5272**	**80,00**	—	—	—	—	Hund Kilo 4,800
5	**20. 2. 90**	—	—	Gehirnhemisphäre	**86,55**	**77,46**	**0,1205**	**0,0904**	**0,3929**	**0,4838**	Hund Kilo 34
6	27. 2. 90	7,16 cc	5	„	83,978	76,41	—	0,2287	0,2533	0,4820	Hund Kilo 19
7	28. 2. 90	3,73 „	1	„	61,132	77,26	—	0,1194	0,3658	0,4852	Hund Kilo 15
8	22. 3. 90	3,33 „	1	Rinde	19,101	78,89	—	0,0272	0,625	0,6522	Hund Kilo 15
9	**20. 5. 90**	—	—	„	**15,5602**	**80,69**	**0,1254**	**0,0133**	**0,6293**	**0,6426**	Hund Kilo 5
10	25. 5. 90	5,76 cc	3	„	28,906	78,45	0,2076	0,1706	0,4756	0,6462	Hund Kilo 20,800
11	7. 6. 90	7,44 „	2	„	24,471	78,51	0,2736	0,1547	0,4518	0,6065	Hund Kilo 21.500
12	**15. 6. 90**	—	—	„ { rechts	4,930	79,93	0,1166	0,01372	0,5062	0,5199	Hund Kilo 10
				„ { links	6,1728	80,05	0,1025	0,01358	0,5068	0,5204	
13	18. 6. 90	6,15 cc	links 1	„ { rechts	6,6904	79,75	0,0996	0,0524	0,6070	0,6594	Hund Kilo 13
				„ { links	5,8678	79,87	0,1337	0,0627	0,5860	0,6487	

1) Die fettgedruckten Versuche betreffen normale Hunde.

Der Versuchshund No. 12 hatte ungefähr 8 Stunden früher zu einer Operation am Mittelohre gedient. Ein sehr ausgedehnter Schnitt der Haut und des subcutanen Bindegewebes hatten den Proc. mastoideus des Schläfebeins blosgelegt, dessen Muskelansätze und jene am Zungenbeinhorn durchgetrennt. Zugleich war an dem Thiere die Tracheotomie geübt worden und die Exstirpation von 3 Knorpelringen behufs Einführung der Canülen in beide Stümpfe. Die Wunde war nicht zusammengenäht worden, aber das Thier hatte nicht einen Blutstropfen verloren und vom Sectiontische entfernt befand es sich wohl. Als es aber zu meinem Versuche herbeigezogen wurde, fieberte es. Ich mache diese Bemerkungen, weil sie Rechenschaft abgeben können für die kleine Quantität Kalium, die sich in der Hirnrinde vorfand und weil sie Ausgangspunkt anderer Untersuchungen sein werden.

Die erste Versuchsreihe wurde damit vervollständigt, dass die gesammte Masse der Hemisphären untersucht wurde. Bei diesen Versuchen, welche den Zahlen 5. 6. 7. entsprechen, bemerkt man, dass in Folge der Injection und proportional der Menge der injicirten Lösung und der Injectionenzahl die Natriummenge zunimmt.

Aber ausserdem ist die Thatsache von Belang, dass mit der Zunahme des Natriums das Kalium derart abnimmt, dass die Summe beider Metalle fast absolut constant bleibt.

Dies ist der sicherste Beweis für die von Bunge ausgesprochene Annahme einer durch Kaliumsalze herbeigeführten Zersetzung mit dem Unterschiede, dass in unserem Falle das Chlornatrium es ist, welches im Ueberschusse im Blute vorhanden eine Verarmung der Gewebe an Kalium mit sich bringt und hierin liegt auch die Erklärung für das Auftreten von Kalium im Harne nach Einführung von Natriumsalzen.

In den Versuchen 6, 7, 8 entging uns eine werthvolle Bestimmung, nämlich die der im Gehirn enthaltenen Chlormenge. Dies rührt daher, dass wir eine kürzere Methode in Angriff nahmen, indem wir uns desselben Materiales bedienten, welches zur Analyse des Kalium und Natrium bestimmt war.

Die Methode misslang und der Percentgehalt an Chlor wurde nicht festgesetzt. Schon in den ersten drei Versuchen hatte ich bemerkt, dass der Gehalt sehr wenig unter den gestellten Bedingungen zunimmt, und der Umstand, dass die Gesammtmenge an Natrium und Kalium unverändert bleibt, beweist, dass diese Zunahme auch in diesen Fällen nicht beträchtlich sein durfte.

Es ist wichtig zu beobachten, wie rasch diese chemischen Wechselwirkungen ablaufen. Denn es genügt eine Injection, damit innerhalb einer einzigen Minute das Verhältniss zwischen Kalium und Natrium geändert werde, während der Percentgehalt an Wasser nicht so schnell geändert wird: ja wir bemerken, dass in diesen Fällen ebendesshalb keine Abnahme der Wassermenge constatirt werden konnte, weil die Zeit dazu nicht ausreichte.

Denn im Versuche No. 2 war der Wasserverlust beträchtlich, weil zwei Injectionen im Intervalle von 16 Minuten gemacht wurden und die Kochsalzmenge, welche im Blute circulirte, Zeit hatte, Wasser zu entziehen, bevor sie durch den Harn ausgeschieden worden wäre. Ausserdem bildete sich in diesen Fällen auch Staar, was ich nicht immer verificiren konnte.

Wir gehen nun über zu den an der isolirten grauen Substanz gemachten Beobachtungen. Wir finden vor Allem, dass die Kaliummenge wie natürlich die Natriummenge um ein Bedeutendes übertrifft und bemerken, dass in zwei Fällen sowohl die rechte als die linke Hemisphäre untersucht wurde, um zu entscheiden, ob durch die in eine Carotis gemachte Injection die Phaenomene deutlicher und rascher auf derselben als auf der entgegengesetzten Seite sich entwickelt hätten.

In dieser Beziehung kommen wir zu dem Schlusse, dass der Chlorgehalt den normalen allerdings wenig übertrifft, aber immer der Zahl der Injectionen und der Menge des injicirten Chlorides proportional ist.

Trachten wir uns von dieser Zunahme an Chlor und Natrium Rechenschaft zu geben. Dass dieselbe durch den Eintritt von Chlornatrium in die Interstitialflüssigkeit bedingt sei, zu glauben, würde auf der Hand liegen. Wäre dies der Fall, so müsste das gesammte Plus an Chlor im Verhältnisse zu seinem Atomgewichte die Menge repräsentiren, welche nothwendig ist, um den Ueberschuss an Natrium zu sättigen.

Im Gegentheil bemerken wir in allen Fällen eine sehr unbeträchtliche Zunahme an Chlor, die unzureichend ist das Plus an Natrium zu compensiren. Wählen wir als Beispiel den Versuch No. 11, wo die Chlormenge am grössten ist, so finden wir in diesem Falle 0,27 gr Chlor, 0,15 gr Natrium und 0,45 gr Kalium. Nimmt man, wie aus mehreren Analysen hervorgeht, an, dass normaler Weise in der grauen Substanz 0,013 Na und 0,13 gr Chlor

auf % vorkommen, so müsste es sich handeln um eine Zunahme von 0,14 Na und 0,14 Chlor.

Nun würde man im Verhältnisse zum Atomgewichte des Chlors 0,21 gr Chlor benöthigen, um 0,14 gr Natrium zu sättigen, also würde ein Theil des Na vom Chlor ungesättigt bleiben. Mit Rücksicht auf den Mangel an Kalium, welcher in unserem Falle 0,17 gr erreichen würde (normalerweise besitzt die Rinde 0,62 gr K) und mit Rücksicht darauf, dass das Kalium als Chlorverbindung bei den von uns gesetzten Bedingungen keine Umlagerung durch das Chlornatrium erfahren konnte, folgt, dass es sich um andere Kaliumsalze, wie Kaliumphosphat oder Sulfat gehandelt haben wird, welche durch Chlornatrium zerlegt Natriumphosphat und Sulfat an ihre Stelle haben treten lassen und andererseits Chlorkalium, welches durch die Blutbahn zur Niere gelangt ist. — So kommt es, dass die Zunahme an Chlor eben zurückzuführen ist auf die in den Geweben unzersetzt gebliebene Menge Chlornatrium, während der grösste Theil Chlorkalium und schwefelsauren und phosphorsauren Natriums, die sich durch doppelte Wechselwirkung gebildet haben, in das Blut gelangt und daraus ausgeschieden worden sind. Dies ist der Grund des Verlustes an Kalium in meinen Versuchen und der von Böcher, Reinson und Beckmann constatirten Ausscheidung desselben.

Was endlich den Versuch No. 13 anbelangt, wo der Wassergehalt nicht gar sehr vom normalen abwich, müssen wir hervorheben, dass eine nicht zu unterschätzende Menge Lösung rasch und auf einmal in die Blutbahn des Gehirnes eingeführt wurde.

In allen Fällen, in welchen eine einzige Injection gemacht wurde, war der Wassergehalt ziemlich hoch, aber immerhin kleiner, als der normale und wir haben den Fall schon gedeutet; aber wir haben uns überzeugt, dass, gesetzt eine gleiche Anzahl Einspritzungen und in unserem Falle eine einzige, die Wassermenge mit dem Steigen der injicirten Salzmenge pro Kilo Thier zunimmt, und dies geschieht deshalb, weil mit Zunahme der eingeführten Salzmenge man sich immer mehr dem schon oben erörterten Versuchsresultat nähert.

Die wasserentziehende Wirkung, die im Vergleiche zur chemischen sich etwas später einstellt, findet nicht mehr statt, wenn die Menge injicirten Salzes eine bestimmte Grenze überschreitet,

welche in unseren Versuchen zwischen 3—4 Lösung per Kilo Thier schwankte.

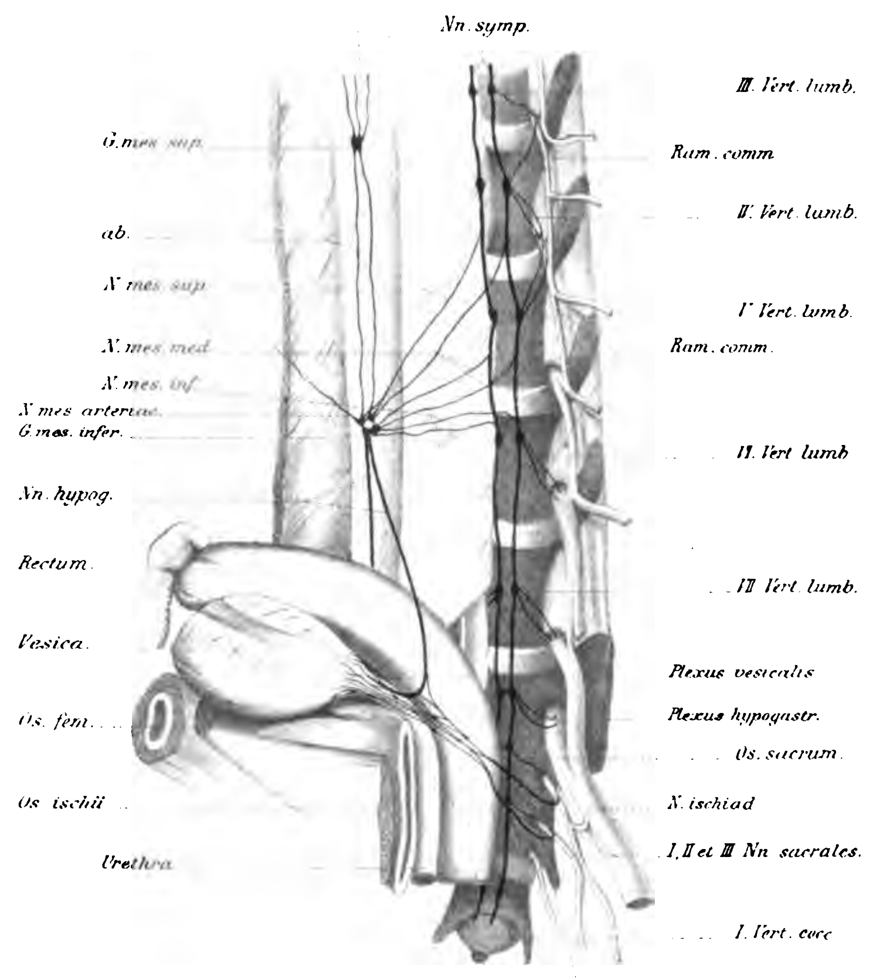
Wollen wir aus den Erscheinungen, die wir verificiren konnten, Schlüsse ziehen, so halten wir uns zur Formulierung folgender Sätze berechtigt:

1) Die Injectionen einer 10% Kochsalzlösung in den peripheren Stumpf der Carotis entziehen der Gehirnsubstanz im Ganzen und speciell der Hirnrinde Wasser. Diese Wasserentziehung findet ziemlich rasch statt; denn um sie zu erzielen genügt eine Injection. Auf diese Weise herbeigeführt erreicht der Wasserverlust nicht 1,25% des normalerweise im Gehirne enthaltenen Wassers und wird immer undeutlicher, je mehr das ein einziges Mal in die Carotis eingeführte Salz zunimmt. Die Dosis der Lösung, welche nothwendig ist, um eine wasserentziehende Wirkung zu haben, schwankt zwischen 2 bis 5 ccm pro Kilo Thier. Von 4 ccm an ist der Wasserverlust immer unbedeutender und schliesslich bei grossen Gaben unmerklich. Die mit diesem Wasserverluste einhergehenden Erscheinungen treten erst dann auf, wenn wenigstens 2 ccm der Lösung auf 1 Kilo Thier auf einmal injicirt worden sind. Wenn aber statt einer Injection mehrere gemacht werden in ziemlich langen Intervallen so zwar, dass sich zuerst vollständig die von einer Injection herbeigeführten Phänomene abgewickelt haben, so bemerkt man, dass der Wasserverlust gerade proportionirt ist mit der Zahl der Injectionen, vorausgesetzt, dass für jede die schon erwähnten Massregeln eingehalten werden.

Unter diesen Bedingungen kann der Wasserverlust 5% der gesammten Hirnmenge erreichen.

2. Unter den angeführten Bedingungen erreicht man leichter als einen Wasserverlust eine chemische Wechselwirkung zwischen Natrium des Kochsalzes und Kalium des Nervengewebes. In der Zusammensetzung des letzteren nimmt nämlich der Procentgehalt an Natrium zu und der des Kalium ab, und in Folge dessen erhält sich die Summe des Kalium und Natrium fast constant.

Diese Unveränderlichkeit ist noch evidenter, wenn man die Untersuchung nicht auf die graue Masse beschränkt, sondern auf die ganze Gehirnsubstanz ausdehnt. In der grauen Substanz schwankt auch normaler Weise innerhalb weiterer Grenzen die Gesammtmenge Kalium und Natrium und zwar zwischen 0,52—0,64%, und innerhalb derselben Grenzen bewegt sich die Summe



Dr. B. Skabitchensky. ad nat. del.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. Emil Strauss, Bonn.



auch in den Fällen von Kochsalzeinspritzung, während in der Gesammtmasse der Hirnhemisphären die Schwankung unbeträchtlich ist, denn sie geschieht zwischen 0,482 und 0,4852 %.

Die Ursache davon liegt in der grösseren Energie des Stoffwechsels der Corticalis als der Gesammtmasse, welche an zelligen Elementen viel ärmer ist.

In der Gesammtmasse der Hemisphären wächst das Natrium vom Normalen 0,09 % bis 0,32 und das Kalium nimmt von 0,39 bis 0,25 ab, und so bleibt die Summe beider Metalle K+Na=0,48 %.

In der grauen Substanz gelangt man von den Normalzahlen 0,013 für das Natrium und 0,62 für Kalium zu 0,17 für das Natrium und 0,47 für das Kalium.

3. Die Procentmenge Chlor, welche im Gehirne enthalten ist, nimmt durch diese Injectionen zu, aber nur soviel, als die Zunahme an Natrium betrifft, zu deren Sättigung eine grössere Menge Chlor nothwendig ist als zum gleichen Gewichte Kalium.

Diese Zunahme steht im geraden Verhältnisse zu der des Natrium und erreicht das Doppelte des Normalen.

4. Die Injectionen von Chlornatrium, zu wiederholten Malen durch die Carotiden auf die Blutbahn des Gehirnes geübt, reichen aus, das venöse Blut hellroth zu färben und das Muskelgewebe mehrere Stunden nach dem Tode des Thieres und seines Nervensystems reizbar und contractil zu erhalten.

Ueber die motorischen Nerven der Blase.

Von

F. Nawrocki und **B. Skabitschewsky.**

Hierzu Tafel VI.

Budge[1]) beobachtete an aetherisirten Kaninchen Contraction der Blase, als er das blossgelegte Rückenmarck am 4. Lendenwir-

1) J. Budge. Ueber das Centrum genito-spinale des N. sympathicus. Virchow's Archiv XV. Bd. Berlin 1858 S. 115.

bel, oder den Bauchsympathicus am 5. Lendenwirbel elektrisch reizte.

Gianuzzi[1]) sah an Hunden Contraction der Blase, wenn er Nerven reizte, die von der 3., 4. und 5. Sacralwurzel herstammen und an der Bildung des plexus hypogastricus Theil nehmen, so wie während der Reizung der Nervenfäden des Bauchsympathicus, die von den ganglia mesenterica nach dem plexus hypogastricus hingehen. Er fand ferner, dass man stets Contraction der Blase beobachtet, wenn man das Lendenmark an zwei Stellen reizt, nämlich am 3. und am 5. Lendenwirbel.

Die erste Stelle überträgt ihre Wirkung durch Nervenfäden, welche zunächst durch die ganglia mesenterica hindurchgehen, bevor sie sich in den plexus hypogastricus hineinsenken; wenn man die betreffenden Nervenfäden durchschneidet, hat die Reizung des Rückenmarkes am 3. Lendenwirbel keine Wirkung auf die Blase.

Die zweite Stelle (am 5. Lendenwirbel) überträgt ihre Wirkung durch Sacralfäden, die in den plexus hypogastricus direct übergehen.

Budge[2]) stellte Versuche hauptsächlich an jungen Hunden an. Er setzte eine Wassersäule mit der Blase in Verbindung: auf diese Weise konnte er an dem durch die Muskelcontraction hervorgebrachten Wasserdrucke den Grad der Contraction messen. Er hatte diese Verfahrungsweise in zweierlei Weise angewandt. Entweder machte er nämlich am Vertex der Blase einen Einschnitt und band eine graduirte Glasröhre ein, unterband die Harnröhrenmündung und füllte die Blase und bis zu einer gewissen Höhe die Glasröhre mit Wasser. Oder er brachte einen mit einer doppelt gebogenen graduirten Glasröhre verbundenen Katheter durch die Harnröhre in die Blase, schnürte die Harnröhre um den Katheter zu und füllte die Blase mit Wasser. Aus seinen Untersuchungen ging hervor, dass: „durch die vorderen Wurzeln der 3. und 4.

---

1) J. Gianuzzi. Note sur les nerfs moteurs de la vessie. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Academie des sciences. T. LVI. Paris 1863. Janvier p. 53.

2) J. Budge. Ueber den Einfluss des Nervensystems auf die Bewegung der Blase. J. Henle's und C. v. Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin 1864. Dritte Reihe. XXI. Bd. S. 1 und 174.

Kreuzbeinnerven, nicht aber durch die vorderen Wurzeln der 1. und 2. Kreuzbeinnerven motorische Nerven zur Blase hingehen; dass es im Rückenmarke eine ausgezeichnete Stelle gibt, welche von den unteren Lendenwirbeln eingeschlossen ist, an welcher Reizung fast constant Bewegung der Blase zur Folge hat, und die Erregbarkeit viel länger besteht, als an allen übrigen Stellen des Rückenmarkes."

Die Resultate seiner Untersuchungen fasst Budge in folgendem Satze zusammen: „Es gibt also zweierlei Züge von motorischen Nervenfasern für die Muskeln der Blase, der eine ist in den vorderen Wurzeln des 3. und 4. Sacralnerven, der andere in dem plexus hypogastricus enthalten." Budge[1]) kommt bei seinen neuen Untersuchungen zu wesentlich anderen Resultaten. Er sagt: „Im plexus hypogastricus liegen nur sensible Fasern und keine motorischen. Die letzteren finden sich lediglich im ersten, zweiten und dritten Sacralnerven."

Sokownin[2]) stellte seine Versuche hauptsächlich an Katzen an. Er beobachtete die Contractionen der Blase unmittelbar mit dem Auge.

Nachdem Sokownin sich überzeugt hatte, dass die Reizung sowohl der Sacralwurzeln, als auch der sympathischen Nervenfäden (zum plexus hypogastricus) Contractionen der Blase hervorruft, reizte er die oberen Theile des Rückenmarks nach vorgängiger Durchschneidung aller Sacralwurzeln oder des Rückenmarks im Niveau des 7. Lendenwirbels. Die Reizung des Rückenmarkes am Halse rief noch in diesem Falle deutliche, wenn auch schwächere Contractionen der Blase hervor, die nach Durchschneidung beider Nervenfäden, welche vom ganglion mesentericum inferius zum plexus hypogastricus hinziehen, nicht mehr zum Vorschein kamen. Die motorischen Erregungen (Impulse) des Gehirns erreichen also die Blase nicht nur auf dem Wege der Sacralnerven, sondern auch vermittelst des sympathischen Nervensystems (ganglion mesentericum inferius).

---

1) J. Budge. Zur Physiologie des Blasenschliessmuskels. Pflüger's Archiv für Physiologie 1872. Band VI. S. 306.

2) Sokownin. Materialien zur Physiologie der Entleerung und Zurückhaltung des Harnes. Kasan 1877 (russisch). Referirt in Hofmann's und Schwalbe's Jahresberichte über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie. Bd. VI. Abth. III. S. 87.

H. Nussbaum[1]) fand an Katzen, dass: 1) die motorischen Rückenmarksnerven der Blase zum Theil in der 1., hauptsächlich in der 2. und 3. vorderen Sacralwurzel verlaufen; 2) dass die motorischen sympathischen Nerven der Blase aus dem Rückenmark unterhalb des 3. Lendenwirbels heraustreten und die Blase erreichen: a) vermittelst des abdominalen Grenzstranges, feiner grauer Nervenfädchen, ganglion mesentericum inferius, zweier breiten grauen Fäden, b) ausserhalb des ganglion mesenterium inferius vermittelst des Grenzstranges.

Während der Reizung des peripheren Abschnittes des Grenzstranges unterhalb des 5. Lendenwirbels erhielt Nussbaum Contraction der Blase.

Dieser kurze Abriss der Litteratur zeigt, dass noch manche Widersprüche in den Angaben der Autoren über den Verlauf der motorischen Nerven der Blase existiren, und dass weitere Versuche erwünscht waren.

Unsere Versuche wurden hauptsächlich an Katzen (zum Theil an Kaninchen) ausgeführt. Zunächst präparirten wir an einer grossen Anzahl von Thieren die an die Blasenwand herantretenden Nerven. Dieselben gelangen an die Blase ausschliesslich von der Seite ihres Halses, wo sie sich durchflechten und den plexus vesicalis bilden. Dieses Geflecht ist die Fortsetzung eines zweiten dickeren plexus hypogastricus, welches aus Nervenfäden und kleinen Ganglien besteht, die im lockeren Bindegewebe an den Seiten des mittleren Theiles des Rectums liegen. Die stärkeren Nervenstämme dieses plexus hypogastricus haben eine quere Richtung zur Längsachse des Rectums; ein Theil derselben endigt in den Wänden des Rectums, der andere geht weiter und erreicht die Muskelschichten der Urethra und der Blase. Die Ganglien im plexus hypogastricus heben sich deutlich hervor und sind bei schwacher Vergrösserung sichtbar; ihre Anzahl ist verschieden, annäherungsweise 20—30 auf jeder Seite.

Der plexus hypogastricus wird durch Zerspaltung zweier

1) H. Nussbaum. Zur Frage über die Innervation des m. detruxor. Arbeiten der Laboratorien der medicinischen Facultät in Warschau. Herausgegeben von F. Nawrocki. Bd. V. 1879. S. 120 (russisch). Referirt in Hoffmann's und Schwalbe's Jahresberichte. VIII. Bd. II. Abth. 1879. S. 64.

Arten von Nerven gebildet: die einen stammen von Sacralnerven ab, die anderen vom ganglion mesentericum inferius. Die ersten führen den Namen der Nervi sacrales und bestehen nur aus zwei Fäden; der eine geht vom 2., der andere vom 3. Sacralnerven ab. Diese beiden Nervenfäden liegen anfangs nahe aneinander, gehen jedoch, vor ihrer Zerspaltung in die feinen Fasern des plexus hypogastricus, weit auseinander. Ausser diesen zwei Nervenfäden hat der plexus hypogastricus keine anderen Verbindungen mit den Sacralnerven; in der Beckenhöhle erhält also die Blase ihre Nerven unmittelbar aus dem Rückenmarke durch die Sacralnerven. Eine unmittelbare Verbindung des plexus hypogastricus mit dem 1. Sacralnerven (cf. Sokownin l. c.) konnten wir nie constatiren.

Was nun die andere Art von Nerven anbelangt, d. h. diejenigen, welche vom ganglion mesentericum inferius zum plexus hypogastricus herabsteigen, haben wir nach Krause[1]) kurzweg als Nervi hypogastrici bezeichnet; sie steigen in die Beckenhöhle herab, beiderseits an der Seite des Mastdarmes und gelangen auf diese Weise in den rechten und den linken plexus hypogastricus. Diese Nerven bestehen aus grauen Nervenfasern und liegen in Gestalt zweier ziemlich dicker Nervenstämme hinter dem Bauchfelle. Beim Kaninchen geht vom ganglion mesentericum inferius zunächst ein gemeinsamer Nervenstamm ab, der im weiteren Verlaufe sich in zwei Nervenfäden theilt, die an beiden Seiten des Mastdarmes in den plexus hypogastricus sich hineinsenken.

Das ganglion mesentericum inferius, von dem die beiden Nervi hypogastrici ihren Anfang nehmen, liegt im Winkel an dem Orte, wo die arteria mesenterica inferior aus der aorta abdominalis entspringt. Bei Kaninchen ist das ganglion mesentericum inferius einfach, bei Katzen besteht dasselbe aus vier kleinen Ganglien, die untereinander durch dünne Nervenfäden verbunden sind, welche die arteria mesenterica inferior umringen. Zur Auffindung dieser Ganglien ist es also zweckmässig, zunächst den Anfang der arteria mesenterica inferior aufzusuchen.

Vom ganglion mesentericum inferius gehen ausser den Nervi hypogastrici noch folgende Nervenfäden ab: 1) je drei Aeste beiderseits zur pars lumbaris des Grenzstranges, wir bezeichnen dieselben als Nervi mesenterici: superior, medius, inferior; 2) ein Ast,

---

7) W. Krause. Die Anatomie des Kaninchens. Leipzig 1868. S. 268.

der die arteria mesenterica inferior begleitet, nervus mesentericus arteriae; 3) zwei feine Nervenfäden, die an das ganglion mesentericum superius hingehen, welches seinerseits durch zahlreiche Nervenfäden mit dem ganglion coeliacum verbunden ist.

Als eine Anomalie, die jedoch bei Katzen ziemlich oft vorhanden ist, dürfen wir bezeichnen, dass vom ganglion mesentericum inferius statt drei nur zwei Nervi mesenterici abgehen, die entweder als zwei, oder wenn der eine im weiteren Verlaufe in zwei sich zerspaltet, in drei besonderen Fäden den Grenzstrang erreichen. Die Nervi mesenterici liegen auf der Bauchaorta, umgeben dieselbe und gehen in den Grenzstrang über in der Höhe des 4.—6. Lendenwirbels. Die rechten Nervi mesenterici ziehen zum Grenzstrang zwischen Aorta abdominalis und Vena cava inferior. Der Grenzstrang hat keine directe Verbindung mit dem plexus hypogastricus, wie die Abbildung deutlich zeigt.

Was nun den sichtbaren Ursprung der Sacralnerven aus dem Rückenmarke anbetrifft, so sind meine Untersuchungen in vollem Einklange mit den Angaben Sokownin's, nämlich: die 1. Sacralwurzel beginnt entsprechend dem unteren Drittel des 5. Lendenwirbels, die 2. an der Grenze des oberen und des mittleren Drittels des 6. Lendenwirbels, und die 3. am unteren Drittel desselben Wirbels.

Aus dieser anatomischen Beschreibung geht hervor, dass die Blase mit dem Rückenmarke durch zwei Nervenwege verbunden ist: der eine, obere, geht durch das ganglion mesentericum inferius; den zweiten, unteren, in der Höhle des kleinen Beckens, bilden die Sacralnerven.

Um den störenden Einfluss der Contraction der Becken- und Bauchmuskeln zu eliminiren, haben wir unsere Versuche stets an curaresirten Thieren angestellt. Die Contractionen der Blase wurden mit dem blossen Auge beobachtet; wir haben uns überzeugt, dass das Einschneiden der Blasenspitze behufs Einbindung einer Cantüle, so wie das Einführen eines Katheters stets Complicationen mit sich bringen, die die Reinheit der Beobachtung illusorisch machen; es werden ja in beiden Fällen die sensiblen Nerven der Blase und im zweiten auch die der Urethra gereizt, was doch bei diesen Versuchen nicht gleichgültig sein kann. Aus unserer zweiten Abhandlung wird der Leser ersehen, dass selbst nach geringfügigen Reizungen sensibler Nerven Blasencontractionen auf re-

flectorischem Wege zu Stande kommen können. Es ist ausserdem sehr leicht die partiellen, durch Abkühlung oder Austrocknung bedingten Contractionen der Blase von der durch Nervenreizung hervorgerufenen totalen Contraction der Blasenmusculatur zu unterscheiden. Die ersteren sind schwach, unregelmässig wellenförmig, es kommt nie zur Runzelung der Blase noch zur Entleerung des Harnes. Solche störende Eigenbewegungen der Blase werden mitunter an Katzen, öfters an Kaninchen (deren Blase viel reizbarer ist, als die der Katze) beobachtet, und in solchen Fällen bleibt nichts übrig, als den Versuch aufzugeben.

Während der Ruhe hat bei der Katze die Blase eine glatte, glänzende Oberfläche, hier und dort sieht man nur kleine Falten. Während der Reizung der an die Blase herantretenden motorischen Nerven, z. B. der Nervi hypogastrici, sieht man, dass, nach einer kurzen Zeit, die Blase sich schnell, beinahe augenblicklich runzelt unter Bildung zahlreicher Falten und sich im Ganzen contrahirt, wobei sie die Gestalt einer kleinen Wallnuss annimmt. Bei einer solchen Contraction erhebt sich die Spitze der Blase, ihre Längsachse wird senkrecht zur Achse der Wirbelsäule, der Inhalt der Blase wird wenigstens auf ein Drittel reducirt; mitunter werden diese Contractionen so stark, dass der Harn im Strahle entleert wird. Es zeigte sich, dass eine mittlere Füllung der Blase für derartige Beobachtungen am günstigsten sei; aus diesem Grunde, falls die Blase prall angefüllt war, haben wir durch leises Drücken auf die Bauchwand einen Theil des Harns vor Anstellung des Versuches entleert. Bei den Versuchen achtete man stets darauf, um die Blasenwand nicht zu berühren; denn die Blase reagirt sehr leicht auf mechanische Reize und kehrt nicht leicht in den erschlafften Zustand zurück. Selbst starke Peristaltik des Rectums kann den Versuch stören. Die Hauptsache bei diesen Versuchen ist schnelle und vorsichtige Operation. Nachdem Curarelösung in die Vena jugularis externa eingespritzt und einige Zeit abgewartet wurde, bis unter künstlicher Athmung das Thier völlig regungslos verblieb, wurde durch einen ergiebigen Schnitt in der Linea alba die Bauchhöhle eröffnet, die Darmschlingen vorsichtig bei Seite geschoben, die nöthigen Präparationen schnell vorgenommen, und sofort die Bauchhöhle vermittelst Klemmpincetten wieder zugemacht. Die Beobachtung der Blasencontraction dauert möglichst kurze Zeit, dagegen lange sind die Pausen, während welcher die

Blase zugedeckt in der Bauchhöhle verbleibt. Uebrigens nach dem Tode des Thieres erhält sich die Erregbarkeit der Nervi hypogastrici gegen eine Stunde, die der Blase noch länger, so dass man, selbst unter diesen Umständen, manchen Versuch anstellen kann, wenn nur die Blase recht vorsichtig behandelt wurde.

Zur Reizung des Nerven bedienten wir uns des Du Bois-Reymond'schen Schlittenapparates (die secundäre Spirale mit 5000 Windungen) in Verbindung mit einem Stöhrer'schen Elemente. Die relative Stärke des Stromes wurde in Millimetern des Rollenabstandes ausgedrückt. Jedesmal nach dem Versuche wurde die Section vorgenommen und die Nerven der Blase rein präparirt.

Wir haben in dieser Richtung über einhundert Versuche angestellt; da jedoch in allen solchen Fällen, in denen keine unerwünschten Nebenumstände die Reinheit der Resultate markirten, wir stets dasselbe beobachteten, so beschränken wir uns auf die Mittheilung einiger Versuche aus jeder unserer Versuchsgruppen.

Versuche.

A. Reizung des Rückenmarkes.

I. 9./V. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden vermittelst eines kleinen Trepans zwei Löcher im Rückgrat ausgebohrt, und zwar das eine am 1. und das zweite am 3. Halswirbel, und durch diese Löcher zwei Nadelelektroden ins Rückenmark eingestochen.

11 h. 5 m. Reizung des Rückenmarkes bei 100 mm. Rollenabstand (R. A.) gab starke Contraction der Blase.
„ 40 m. Reizung bei 100 mm R. A. starke Contraction.
„ 45 m. „ „ 70 „ „ „ „
12 h. „ „ „ „ „ „ „

II. 11./V. 88. Bei einer curaresirten Katze wurde das Rückenmark am 1. Halswirbel durchschnitten. Die Nadelelectroden wurden ober- und unterhalb des 2. Halswirbels eingestochen.

11 h. 30 m. Reizung bei 100 mm R. A. starke Contraction.
„ 40 m. „ „ „ „ „ „
12 h. „ „ „ „ „ „ „
„ 20 m. „ „ „ „ „ „
„ 30 m. „ „ „ „ „ „
„ 40 m. „ „ „ „ „
1 h. „ „ „ 70 mm „ „ „

. III. 27./XI. 89. Bei einem curaresirten Kaninchen wurden Nadelelectroden am 1. und 3. Halswirbel ins Rückenmark eingestochen.

11 h. 10 m. Reiz. des Rückenmarkes bei 100 mm R. A. Contraction.
„ 25 m. „ „ „ „ 90 mm „
Es wurde der N. Hypogastricus durchschnitten.
„ 40 m. Reiz. des Rückenmarkes bei 90 mm Contraction.
Es wurde das Rückenmark am 6. Lendenwirbel durchschnitten.
„ 55 m. Reiz. des Rückenmarkes bei 80—60 mm R. A. Ruhe.

B. Reizung der 4. und 5. vorderen Lendenwurzel.

IV. 23./III. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die 3., 4. und 5. vordere Lendenwurzel freigelegt und durchschnitten. Man reizte die peripherischen Abschnitte mit Induktionsströmen.

1 h. 22 m.	Reizung	der 5.	Wurzel	bei	100 mm	R. A. —	starke Contraction.
25 m.	„	„ 4.	„	„	„		Contraction.
28 m.	„	„ 3.	„	„	„		Ruhe.

V. 28./III. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die peripherischen Abschnitte der 3., 4., 5. und 6. vorderen Lendenwurzel mit Induktionsströmen gereizt.

11 h. 50 m.	Reizung	der 4.	Wurzel	bei	110 mm	R. A.	starke Contraction.
55 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„ „
12 h. „	„	„ 6.	„	„	„	„	Ruhe.
5 m.	„	„ 4.	„	„	„	„	starke Contraction.
10 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„ „
15 m.	„	„ 6.	„	„	80 mm	„	Ruhe.
16 m.	„	„ 4.	„	„	100 mm	„	starke Contraction.
20 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„ „
25 m.	„	„ 6.	„	„	60 mm	„	Ruhe.
26 m.	„	„ 5.	„	„	100 mm	„	Contraction.
28 m.	„	„ 4.	„	„	„	„	„
30 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„
33 m.	„	„ 4.	„	„	„	„	„
36 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„
43 m.	„	„ 3.	„	„	100 mm	„	Ruhe.
46 m.	„	„ 3.	„	„	60 mm	„	„
48 m.	„	„ 4.	„	„	90 mm	„	Contraction.
50 m.	„	„ 5.	„	„	„	„	„
57 m.	„	„ 3.	„	„	60 mm	„	Ruhe.

VI. 29./III. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die 3., 4., 5. und 6. vordere Lendenwurzel freigelegt und durchschnitten. Man reizte die peripherischen Abschnitte dieser Wurzeln mit Induktionsströmen.

[illegible]	Reizung	der	3.	Wurzel	bei	[illegible] mm	R. A.	Ruhe.
5 m.	„	„	4.	„	„	100 mm	„	Contraction.
10 m.	„	„	5.	„	„	„	„	starke Contraction.
15 m.	„	„	6.	„	„	90 mm	„	Ruhe.
20 m.	„	„	4.	„	„	100 mm	„	Contraction.
25 m.	„	„	5.	„	„	„	„	„
30 m.	„	„	4.	„	„	90 mm	„	„
35 m.	„	„	5.	„	„	„	„	„
40 m.	„	„	4.	„	„	80 mm	„	„
45 m.	„	„	5.	„	„	„	„	„

VII. 29. X. 88. Bei einer kleinen curaresirten Katze wurde der periphere Abschnitt der 4. vorderen Lendenwurzel mit Induktionsströmen gereizt.

11 h. 10 m.	Reizung	der 4.	Wurzel	bei	100 mm	R. A.	starke Contraction.
25 m.	„	„ 4.	„	„	„	„	Contraction.
30 m.	„	„ 4.	„	„	„	„	„

Es wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten.

35 m.	Reizung	der 4.	Wurzel	bei	100 mm	R. A.	Ruhe.
40 m.	„	„ 4.	„	„	90 mm	„	„

VIII. 29. X. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden auf beiden Seiten die 3., 4., 5., 6. und 7., vordere Lendenwurzeln freigelegt und durchschnitten. Man reizte die peripherischen Enden dieser Wurzeln mit Induktionsströmen.

1 h.	Reizung	der	5. linken	Wurzel	bei	100 mm	R. A.	Contraction.
2 m.	„	„	6. „	„	„	„	„	Ruhe.
3 m.	„	„	7. „	„	„	„	„	„
5 m.	„	„	4. „	„	„	„	„	starke Contract.
6 m.	„	„	4. rechten	„	„	„	„	„ „
8 m.	„	„	5. linken	„	„	90 mm	„	Contraction.
10 m.	„	„	5. rechten	„	„	„	„	„
20 m.	„	„	3. linken	„	„	„	„	Ruhe.
21 m.	„	„	3. rechten	„	„	„	„	„
22 m.	„	„	4. linken	„	„	„	„	Contraction.
24 m.	„	„	4. rechten	„	„	„	„	„
26 m.	„	„	5. linken	„	„	„	„	„
28 m.	„	„	5. rechten	„	„	„	„	„
30 m.	„	„	6. linken	„	„	80 mm	„	Ruhe.
31 m.	„	„	5. „	„	„	90 mm	„	Contraction.
32 m.	„	„	5. rechten	„	„	„	„	„
34 m.	„	„	4. linken	„	„	„	„	„
36 m.	„	„	4. rechten	„	„	80 mm	„	„
38 m.	„	„	3. linken	„	„	„	„	Ruhe.
39 m.	„	„	3. rechten	„	„	„	„	„

Es wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten.

1 h. 46 m. Reizung der 4. linken Wurzel bei 70 mm R. A. Ruhe.
48 m. „ „ 4. rechten „ „ „ „ „
50 m. „ „ 5. linken „ „ „ „ „
52 m. „ „ 5. rechten „ „ „ „ „
54 m. „ „ 4. linken „ „ 60 mm „ „
56 m. „ „ 5. „ „ „ „ „ „
Es wurden die peripherischen Abschnitte der Nn. Hypogastrici gereizt.
1 h. 58 m. Reizung des linken Hypogastricus bei 100 mm R. A. st. Contr.
2 h „ „ rechten „ „ 100 mm „ „ „

C. Reizung des Lendentheiles des Grenzstranges.

IX. 29./IX. 88. Bei einer curaresirten Katze wurde der linke Grenzstrang am 5. Lendenwirbel durchschnitten und sein peripherer Abschnitt mit Induktionsströmen gereizt.

12 h. 15 m. Reizung des Lendensympathicus bei 100 mm R. A. Contraction.
20 m. „ „ „ „ 90 mm „ „
25 m. „ „ „ „ „ „ starke Contr.
30 m. „ „ „ „ 80 mm „ Contraction.
35 m. „ „ „ „ 70 mm „ starke Contr.

X. 21./V. 89. Bei einer grossen curaresirten Katze wurde der periphere Abschnitt des am 5. Lendenwirbel durchschnittenen linken Grenzstranges mit Inductionsströmen gereizt.

11 h. 5 m. Reizung des Lendensympathicus bei 100 mm R. A. Contraction.
15 m. „ „ „ „ „ „ „
Es wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten und zur Controlle, ob die Blasenmusculatur noch erregbar ist, mit Inductionsströmen gereizt (unmittelbar nach vorgenommener Reizung des Lendensympathicus).
30 m. Reiz. d. linken Lendensympath. bei 100 mm R. A. Ruhe.
30 m. „ „ rechten Hypogastricus „ „ „ Contraction.
40 m. „ „ Lendensympath. „ 80 mm „ Ruhe.
40 m. „ „ „ Hypogastricus „ 100 mm „ Contraction.
50 m. „ „ Lendensympath. „ 70 mm „ Ruhe.
50 m. „ „ „ Hypogastricus „ 100 mm „ Contraction.
12 h. „ „ Lendensympath. „ 70 mm „ Ruhe.
12 h. „ „ „ Hypogastricus „ 90 mm „ st. Contract.
25 m. „ „ Lendensympath. „ 60 mm „ Ruhe.
25 m. „ „ Hypogastricus „ 100 mm „ st. Contract.

XI. 22./V. 89. Bei einer grossen curaresirten Katze wurde das Rückenmark am 1. Halswirbel durchschnitten. Man reizte mit Induktionsströmen

[illegible] Lendenwirbel [illegible]

[illegible]

[illegible] Reiz. des Lendensympath. bei [illegible] mm R. A. [illegible]

[illegible] m. „ „ „ „ „ „

[illegible] ganglion mesentericum an das [illegible] ganglion mesenteri- [illegible]

[illegible] Reiz. des Lendensympath. bei [illegible] mm R. A. Ruhe.

[illegible] m. „ „ „ „ [illegible] mm „ „

Es wurde [illegible] N. Hypogastricus durchschnitten und der peri- [illegible] Abschnitt [illegible] mit Induktionsströmen gereizt, zur Controlle, ob die Blasenmusculatur noch erregbar geblieben ist.

[illegible] m. Reiz. des Hypogastricus bei [illegible] mm R. A. Contraction.

[illegible] m. „ „ Lendensympath. „ [illegible] mm „ Ruhe.

[illegible] m. „ „ Hypogastricus „ „ „ Contraction.

XII. [illegible] V. [illegible] Bei einem curaresirten Kaninchen wurde der linke Grenzstrang am 5. Lendenwirbel durchschnitten und sein peripherer Abschnitt mit Induktionsströmen gereizt.

10 h. 40 m. Reiz. des Lendensympath. bei [illegible] mm R. A. starke Contract.

[illegible] m. „ „ „ „ [illegible] mm „ „ „

11 h. „ „ „ „ 200 mm „ schwache „

Man durchschnitt den N. hypogastricus und reizte seinen peripheren Abschnitt mit Induktionsströmen, um die Reizbarkeit der Blasenmusculatur darzuthun.

11 h. 10 m. Reiz. d. Hypogastricus bei 200 mm R. A. sehr starke Contr.

20 m. „ „ Lendensympath. „ 150 mm „ Ruhe.

25 m. „ „ „ „ 100 mm „ Ruhe.

26 m. „ „ Hypogastricus „ 200 mm „ starke Contraction.

35 m. „ „ Lendensympath. „ 80 mm „ Ruhe.

36 m. „ „ Hypogastricus „ 250 mm „ Contraction.

45 m. „ „ Lendensympath. „ 70 mm „ Ruhe.

46 m. „ „ Hypogastricus „ 300 mm „ starke Contraction.

55 m. „ „ Lendensympath. „ 60 mm „ Ruhe.

56 m. „ „ Hypogastricus „ 250 mm „ starke Contraction.

XIII. 16. V. 89. Bei einem curaresirten Kaninchen wurde der periphere Abschnitt des N. Hypogastricus mit Induktionsströmen gereizt.

10 h. 30 m. Reiz. des Hypogastricus bei 120 mm R. A. sehr starke Contr.

40 m. „ „ „ „ 130 mm „ „ „ „

Es wurde der linke Grenzstrang am 5. Lendenwirbel durchschnitten und sein peripherer Abschnitt, und unmittelbar darauf der des Hypogastricus electrisch gereizt.

10 h. 50 m. Reiz. d. Lendensympath. bei 100 mm R. A. Ruhe.
50 m. „ „ Hypogastricus „ 140 mm „ sehr starke Contr.
11 h. „ „ Lendensympath. „ 90 mm „ Ruhe.
11 h. „ „ Hypogastricus „ 150 mm „ sehr starke Contr.
10 m. „ „ Lendensympath. „ 80 mm „ Ruhe.
10 m. „ „ Hypogastricus „ 200 mm „ sehr starke Contr.
20 m. „ „ „ „ 200 mm „ „ „ „
40 m. „ „ „ „ 220 mm „ „ „ „
50 m. „ „ Lendensympath. „ 70 mm „ Ruhe.
50 m. „ „ Hypogastricus „ 250 mm „ starke Contraktion.
12 h. 15 m. „ „ „ „ 300 mm „ „ „
Es wurde der Hypogastricus mechanisch (Zerquetschen mit einer Pincette) gereizt.
20 m. mech. Reiz. d. Hypogastricus R. A. Contraction.
21 m. „ „ „ „ „ „

XIV. 29./IX. 90. Bei einer kleinen curaresirten Katze wurde auf beiden Seiten der Grenzstrang am 5. Lendenwirbel durchschnitten, und die peripheren Enden dieser Nerven gereizt.

12 h. 55 m. Reiz. d. rechten Lendensympath. bei 100 mm R. A Contraction.
1 h. 5 m. „ „ linken „ „ „ „ „
Beide Nn. Hypogastrici wurden durchschnitten.
1 h. 20 m. Reiz. d. rechten Lendensympath. bei 50 mm R. A. Ruhe.
30 m. „ „ linken „ „ „ „ „
Zum Nachweis, dass die Reizbarkeit der Blasenmusculatur erhalten war, wurden die peripheren Enden der Hypogastrici elektrisch gereizt.
31 m. Reiz. d. rechten Hypogastrici bei 100 mm R. A. Contraction.
32 m. „ „ linken „ „ „ „ „
40 m. „ „ rechten „ „ „ „ „
45 m. „ „ linken „ „ „ „ „

D. Reizung der Nn. mesenterici (superior, medius, inferior).

XV. 18./IV. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden auf der linken Seite die drei vom Grenzstrange nach dem Ganglion mesentericum inferius abgehenden Nn. mesenterici durchschnitten und ihre peripheren Abschnitte elektrisch gereizt.

12 h. 50 m. Reiz. d. Mesent. superior bei 110 mm R. A. Contraction.
55 m. „ „ „ medius „ „ „ „
1 h. „ „ „ inferior „ „ „ „
10 m. „ „ „ „ „ 100 mm „ „
30 m. „ „ „ medius „ „ „ „
40 m. „ „ „ superior „ „ „ „

XVI. 19./IV. 88. **Bei einer curaresirten Katze wurden die vom Grenzstrange abgetrennten peripheren Enden der drei Nn. mesenterici mit Induktionsströmen gereizt.**

11 h. 50 m. Reiz. d. Mesent. inferior bei 100 mm R. A. Contraction.
12 h. „ „ „ medius „ „ „ „
10 m. „ „ „ superior „ „ „ „
15 m. „ „ „ inferior „ „ „ „
20 m. „ „ „ medius „ „ „ „
30 m. „ „ „ superior „ „ „ „
40 m. „ „ „ inferior „ „ „ „
50 m. „ „ „ medius „ „ „ „
1 h. „ „ „ superior „ „ „ „

XVII. 30./I. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die peripheren Abschnitte der drei Nn. mesenterici elektrisch gereizt.

12 h. 50 m. Reiz. d. Mesent. inferior bei 120 mm R. A. starke Contraction
53 m. „ „ „ medius „ „ „ Contraction.
1 h. „ „ „ superior „ „ „ „
3 m. „ „ „ inferior „ 110 mm „ „
5 m. „ „ „ medius „ „ „ „
9 m. „ „ „ superior „ „ „ „

XVIII. 22./XI. 87. Bei einer curaresirten Katze wurden alle drei Nn. Mesenterici zusammen unterbunden, vom Grenzstrang getrennt, und ihr peripherer Abschnitt elektrisch gereizt.

12 h 15 m. Reiz. d. Nn. mesenterici bei 100 mm R. A. Contraction.
17 m. „ „ „ „ „ „ „ „
19 m. „ „ „ „ „ 80 mm „ „
Es wurde der linke Hypogastricus durchschnitten.
21 m. Reiz. d. Nn. mesenterici bei 70 mm R. A. Contraction.
Es wurde der rechte Hypogastricus durchschnitten.
23 m. Reiz. der Nn. mesenterici bei 60 mm R. A. Ruhe.
Um die erhaltene Reizbarkeit der Blasenmuskulatur darzuthun, wurden die peripheren Enden der Hypogastrici gereizt.
24 m. Reiz. d. linken Hypogastricus bei 100 mm R. A. Contraction.
25 m. „ „ rechten „ „ „ „ „

XIX. 30./XI. 87. Bei einer curaresirten Katze wurden links alle drei Nn. mesenterici unterbunden, vom Grenzstrang abgeschnitten, und mit Induktionsströmen gereizt.

12 h. 5 m. Reiz. der Nn. mesenterici bei 120 mm R. A. Contraction.
10 m. „ „ „ „ „ „ „ „
15 m. „ „ „ „ „ 110 mm „ sehr starke Contr.
20 m. „ „ „ „ „ „ „ Contraction.
25 m. „ „ „ „ „ „ „ „

Man durchschnitt beide Nn. Hypogastrici.
30 m. Reiz. der Nn. mesenterici bei 100 mm R. A. Ruhe.
Um die vorhandene Reizbarkeit der Blasenmusculatur darzulegen, wurde das periphere Ende des linken Nn. Hypogastricus gereizt.
35 m. Reiz. d. linken Hypogastricus bei 110 mm R. A. sehr st. Contr.
40 m. „ „ „ „ „ „ „ „ „ „

XX. 1./XII. 87. Bei einer curaresirten Katze wurden die drei Nn. mesenterici links unterbunden, vom Grenzstrang abgetrennt, und ihr peripherer Abschnitt elektrisch gereizt.
11 h. 10 m. Reiz. d. Nn. Mesenterici bei 100 mm R. A. Contraction.
15 m. „ „ „ „ „ „ „ „
25 m. „ „ „ „ „ „ „ sehr starke Contr.
30 m. „ „ „ „ „ „ „ „ „ „
Es wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten.
35 m. Reiz. d. Nn. mesenterici bei 100 mm R. A. Ruhe.
Um die Reizbarkeit der Blasenmusculatur nachzuweisen, wurde das periphere Ende des linken Nn. Hypogastricus gereizt.
36 m. Reiz. d. Nn. Hypogastricus bei 100 mm R. A. sehr st. Contr.
40 m. „ „ „ „ „ „ „ „ „ „
50 m. „ „ „ „ „ „ „ „ „ „

XXI. 1./II. 88. Bei einer curaresirten Katze wurde der periphere Abschnitt des Nn. mesentericus inferior elektrisch gereizt.
12 h. 10 m. Reiz. d. N. mesentericus inferior bei 100 mm R. A. starke Contr.
13 m. „ „ „ „ „ „ „ „ „ „
Beide Nn. Hypogastrici wurden durchschnitten.
12 h. 16 m. Reiz. d. N. mesent. infer. bei 100 mm R. A. Ruhe.
Die Reizung des peripheren Endes des linken Hypogastricus wies die Reizbarkeit der Harnblasenmusculatur nach.
12 h. 25 m. Reiz. d. N. Hypogastricus bei 100 mm R. A. Contraction.

E. Reizung der Nn. Hypogastrici.

a) bei lebendem Thiere.

XXII. 1./IX. 87. Bei einer curaresirten Katze wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten und ihre peripheren Enden elektrisch gereizt.
10 h. 28 m. Reiz. des rechten Hypogastricus bei 120 mm. R.-A. Contraction.
32 m. „ „ „ „ „ 100 mm. „ „
36 m. „ „ „ „ „ 100 mm. „ „
40 m. „ „ „ „ „ 100 mm. „ „
45 m. „ „ linken „ „ 100 mm. „ „

XXIII 17./IX. 87. Bei einer curaresirten Katze wurde der periphere Abschnitt der linken Hypogastricus gereizt.

1 h. Reiz. des linken Hypogastricus bei 90 mm R. A. starke Contr.
2 m. " " " " " " " " "
5 m. " " " " " " " " "
8 m. " " " " " 85 mm, " sehr " "

XXIV 23./XI. 89. Bei einem curaresirten Kaninchen wurde das periphere Ende des Hypogastricus elektrisch gereizt.

10 h. 30 m. Reiz. des Hypog. bei 250 mm R. A. starke Contraction.
40 m. " " " " 280 mm " Contraction.
50 m. " " " " 250 mm " starke Contraction.
11 h. Zerquetschung des Hypog. mit einer Pincette. Contraction.

b) nach dem Tode des Versuchsthieres.

XXV. 13./X. 88. Eine junge Katze starb sofort nach Injection der Curarelösung in die Iugularvene um 12 h. — Die nach dem Versuche vorgenommene Section ergab einen Diaphragmabruch, beinahe der ganze Dünndarm lag in der Brusthöhle. — Es wurden die beiden Nn. Hypogastrici durchschnitten, und ihre peripheren Abschnitte mit Inductionsströmen gereizt.

12 h. 15 m. Reiz. des linken Hypog. bei 100 mm R. A. Contraction.
16 m. " " " " " " " "
17 m. " " rechten " " " " "
22 m. " " linken " " 80 mm. " starke Contraction.
23 m. " " rechten " " " " " "
52 m. " " linken " " " " " "

XXVI 23./V. 89. Eine schwangere Katze starb sofort nach Injection der Curarelösung in die Vena jugularis um 11 h. 15 m. Es wurden beide Nn. Hypogastrici durchschnitten, und ihre peripheren Abschnitte elektrisch gereizt.

11 h. 30 m. Reiz. des linken Hypog. bei 100 mm R. A. Contraction.
32 m. " " rechten " " " " "
37 m. " " linken " " " " "
41 m. " " rechten " " " " starke Contraction.
50 m. " " linken " " " " Contraction.
12 h. " " rechten " " " " "
5 m. " " linken " " " " schwache Contr.
10 m. " " rechten " " " " Ruhe.

XXVII. 25./V. 89. Eine grosse Katze starb sofort nach Injection der Curarelösung in die Iugularvene um 10 h. 50 m. Es wurde der linke Grenzstrang am 5. Lendenwirbel durchschnitten, und sein peripherer Abschnitt elektrisch gereizt.

11 h. 10. m. Reiz. des Lendensympathicus bei 80 mm. R. A. starke Contr.
Es wurden beide Hypogastrici durchschnitten.
20 m. Reiz. des Lendensympathicus bei 80 mm. R. A. Ruhe.

Unmittelbar darauf wurden die peripheren Abschnitte der Hypogastrici elektrisch gereizt.

20 m.	Reiz. des	rechten	Hypog.	bei	80 mm	R. A.	sehr starke Contr.
20 m.	„ „	linken	„	„	„	„	„ „ „
25 m.	„ „	„	„	„	„	„	Contraction.
30 m.	„ „	rechten	„	„	„	„	schwache Contr.
30 m.	„ „	linken	„	„	„	„	Contraction.
35 m.	„ „	„	„	„	„	„	schwache Contr.
40 m.	„ „	„	„	„	70 mm.	„	Ruhe.

Die unmittelbare Reizung der Blasenwand rief Contraction hervor.

XXVIII. 27./V. 89. Bei einem curaresirten Kaninchen wurde der periphere Abschnitt des N. Hypogastricus elektrisch gereizt.

11 h. 25 m. Reiz. des Hypog. bei 100 mm. R. A. Contraction.
Die künstliche Athmung wurde aufgehoben;
30 m. Tod des Thieres. Keine Herztöne, Carotis und Bauchaorta pulsirten nicht mehr.

45 m.	Reiz.	des	Hypog.	bei	100 mm	R. A. Contraction.
12 h.	„	„	„	„	90 mm	„ „
18 m.	„	„	„	„	80 mm	„ „
13 m.	„	„	„	„	„	„ „
27 m.	„	„	„	„	70 mm.	„ schwache Contraction.

F. Reizung der 2. und 3. vorderen Sacralwurzeln.

XXIX. 11./IV. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden links die vorderen 1., 2, 3., 4. Sacralwurzeln und die 1. vordere Caudalwurzel vom Rückenmark getrennt; die peripheren Abschnitte genannter Wurzeln wurden mit Induktionsströmen gereizt.

11 h. 55 m.	Reiz. der	3.	Sacralis	bei	100 mm.	starke Contraction.
12 h. 7 m.	„ „	4.	Sacralis	„	100—60 mm	Ruhe.
8 m.	„ „	1.	Caudalis	„	„	Ruhe.
9 m.	„ „	3.	Sacralis	„	110 mm	starke Contraction.
17 m.	„ „	2.	„	„	„	Contraction.
18 m.	„ „	3.	„	„	„	starke Contraction.
25 m.	„ „	2.	„	„	„	Contraction.
26 m.	„ „	3.	„	„	„	starke Contraction.
33 m.	„ „	1.	Sacralis	„	100—60 mm	Ruhe.
43 m.	„ „	2.	„	„	110 mm.	Contraction.
44 m.	„ „	3.	„	„	„	starke Contraction.
49 m.	„ „	2.	„	„	„	Contraction.
50 m.	„ „	3.	„	„	„	starke Contraction.
55 m.	„ „	2.	„	„	„	Contraction.

XXX. 12./IV. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die 1., 2. und

3. vorderen Sacralwurzeln vom Rückenmarke getrennt, und ihre peripheren Abschnitte elektrisch gereizt.

11 h. 55 m. Reiz. der 3. Sacralis bei 90 mm R. A. Contraction.
12 h. „ „ 2. „ „ „ „ „
13 m. „ „ 1. Sacralis „ 60 mm. „ Ruhe.
14 m. „ „ 2. „ „ 90 mm. „ Contraction.
20 m. „ „ 3. „ „ „ „ starke Contraction.
25 m. „ „ 2. „ „ „ „ Contraction.
30 m. „ „ 3. „ „ „ „ starke Contraction.
35 m. „ „ 2. „ „ „ „ Contraction.
40 m. „ „ 3. „ „ „ „ „
45 m. „ „ 2. „ „ 80 mm. „ „
50 m. „ „ 3. „ „ „ „ „

XXXI. 14./IV. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden die vorderen 7. Lenden-, 1., 2., 3., 4. Sacral- und 1. Caudalwurzel vom Rückenmark getrennt und ihre peripheren Abschnitte elektrisch gereizt.

11 h. 50 m. Reiz. der 7. Lumbalis bei 110—60 mm R. A. Ruhe.
55 m. „ „ 1. Sacralis „ „ „ „
12 h. „ „ 2. „ „ 110 mm. „ Contraction.
5 m. „ „ 3. „ „ „ „ sehr starke Contr
10 m. „ „ 4. Sacralis „ 110—60 mm. „ Ruhe.
12 m. „ „ 1. Caudalis „ „ „ „
15 m. „ „ 3. Sacralis „ 110 mm „ sehr starke Contr.
20 m. „ „ 2. „ „ „ „ starke Contraction.
25 m. „ „ 3. „ „ „ „ sehr starke Contr.
30 m. „ „ 2. „ „ „ „ starke Contraction.
35 m. „ „ 3. „ „ „ „ sehr starke Contr.
40 m. „ „ 2. „ „ „ „ starke Contraction.
45 m. „ „ 3. „ „ „ „ sehr starke Contr.
55 m. „ „ 2. „ „ „ „ starke Contraction.
1 h. „ „ 3. „ „ „ „ sehr starke Contr.
5 m. „ „ 2. „ „ „ „ starke Contraction.

XXXII. 3./X. 88. Bei einer curaresirten Katze wurden auf beiden Seiten die vorderen 2. und 3. Sacralwurzeln vom Rückenmark getrennt und ihre peripheren Abschnitte elektrisch gereizt.

11 h. 45 m. Reiz. der linken 2. Sacralis bei 110 mm R. A. starke Contr.
47 m. „ „ „ 3. „ „ „ „ „ „
49 m. „ „ rechten 2. „ „ „ „ Contraction.
51 m. „ „ „ 3. „ „ „ „ starke Contr.
12 h. „ „ linken 2. „ „ „ „ Contraction.
4 m. „ „ „ 3. „ „ „ „ starke Contr.
8 m. „ „ rechten 2. „ „ „ „ Contraction.
10 m. „ „ „ 3. „ „ „ „ starke Contr.

Es wurden nun beide Hypogastrici durchschnitten; die elektrische Reizung ihrer peripheren Abschnitte ergab Folgendes.

12 h. 40 m.	Reiz. des linken Hypog.	bei	110 mm	R. A.	Contraction.		
41 m.	„ „ rechten	„	„	„	„		

Es wurden nun die vorderen Sacralwurzeln von Neuem elektrisch gereizt.

12 h. 48 m.	Reiz. der linken	2.	Sacralis	bei	90 mm	R. A.	Contraction.
49 m.	„ „ „	3.	„	„	„	„	starke Contr.
50 m.	„ „ rechten	2.	„	„	„	„	Contraction.
51 m.	„ „ „	3.	„	„	„	„	„
1 h. 5 m.	„ „ linken	2.	„	„	„	„	„
6 m.	„ „ „	3.	„	„	„	„	„
7 m.	„ „ rechten	2.	„	„	„	„	„
8 m.	„ „ „	3.	„	„	„	„	„

Unsere Versuche zeigen, dass die motorischen Nerven der Blase aus dem Rückenmarke dieses Organ auf zwei Wegen erreichen:

1) Erster — oberer Weg. Rückenmark, 4. und 5. vordere Lumbalwurzeln, rami communicantes, der Lendentheil des Grenzstranges, Nervi mesenterici (superior, medius, inferior), ganglion mesentericum inferius, Nervi hypogastrici, plexus hypogastricus, plexus vesicalis, Blase.

2) Zweiter — unterer Weg. Rückenmark, 2. u. 3. vordere Sacralwurzeln, Nervi sacrales, plexus hypogastricus, plexus vesicalis, Blase.

Erklärung der Abbildung auf Tafel VI.

Die Blasennerven der Katze.

Nn. ad gang. coel. = die Nervenfäden zum ganglion coeliacum.

G. mes. sup. = ganglion mesentericum superius.

ab = Nervenfäden zum ganglion mesentericum inferius.

N. mes. sup.; N. mes. med.; N. mes. inf. = Nervus mesentericus superior, medius, inferior dexter et sinister.

N. mes. arteriae = N. mesentericus arteriae.

G. mes. inf. = Ganglion mesentericum inferius.

Nn. hypog. = Nervi hypogastrici.

Os fem. = Os femoris.

Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des quergestreiften Muskels von seinen Nerven aus.

Von

Julius Schott, cand. med. aus Tübingen.

Obwohl seit den bahnbrechenden Arbeiten von Helmholtz[1]) zahlreiche Untersuchungen über die Muskelzuckung angestellt worden sind, und obwohl man eine Menge von Bedingungen kennen lernte, welche die Gestalt der Muskelkurven beeinflussen, galt doch als Regel die Annahme, dass ein und derselbe Muskel infolge eines einmaligen Reizes seine Zusammenziehung nahezu in ein und derselben Zeit vollführt; allerdings erwiesen sich Ermüdung, Belastung, Erwärmung als die Contraction des Muskels beeinflussende Momente. Dagegen war bis jetzt noch nicht bekannt, dass ein und derselbe Muskel, bald schnell, bald langsam je nach der Art des angewandten Reizes sich zusammenzieht. Grützner[2]) macht darüber einige Angaben bei Gelegenheit der Besprechung seiner Versuche betreffs chemischer Reizung des Frosch-Sartorius durch Kalisalpeter. Betupft man nämlich die obere, unmittelbar unter der Haut liegende Fläche dieses Muskels mit einer ein- bis zweiprocentigen Kalisalpeterlösung, die man, um ihre Ausbreitung zu verhindern, mit wenig Thon (Bolus alba) zu einer dünnschmierigen Masse verwandelt hat, so zieht sich der Muskel langsam zusammen; betupft man die untere Fläche in gleicher Weise, so bleibt der Erfolg häufig ganz aus oder ist viel schwächer. Wohl aber zuckt der ganze Muskel blitzartig schnell zusammen, wenn man ihn elektrisch reizt. Die Ursache jenes merkwürdigen Verhaltens liegt einfach darin, dass

1) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1850 S. 276 u. 1852 S. 199.

2) Tageblatt der 59. Versamml. deutscher Naturforscher u. s. w. zu Berlin 1886, S. 202. E. Wörtz, Dissertation, Tübingen 1889 und Bonhöffer, Pflügers Archiv Bd. 47. S. 125.

der Sartorius des Frosches im Wesentlichen aus zwei Schichten verschiedener Muskelfasern besteht, indem die obern (die dünnern), sich langsamer zusammenziehen als die untern (die dickern) und nur erstere durch das Kalisalz, beide, namentlich aber die flinken, durch den elektrischen Reiz erregt werden[1]).

Ganz ähnliche Beobachtungen kann man übrigens an fast jedem Muskel, auch der Warmblüter, am besten an den dünnen Muskeln (Bauchmuskeln, Zwerchfell) lebender, am besten curarisirter oder eben getödteter Meerschweinchen und Kaninchen machen.

Betupft man sie mit der Salzlösung, so ziehen sie sich ganz langsam (wurmförmig) zusammen; reizt man dieselben Stellen vorher oder nachdem man die Salzlösung abgespült hat, mit einem Induktionsschlag, so erfolgt ihre Zusammenziehung blitzartig schnell. Auch in Folge verschieden starker elektrischer Reize ziehen sich verschiedene Theile ein und desselben Muskels zusammen, wie sich Grützner[2]) an in physiologischer Kochsalzlösung versenkten Muskeln überzeugen konnte, die sich je nach der Stärke des Reizes bald nach der einen, bald nach der andern Richtung zur Seite bewegten oder sich genau senkrecht in die Höhe hoben.

Es war nun von vornherein wahrscheinlich, dass schnelle Reize wesentlich die schnellen und langsame Reize wesentlich die langsamen Elemente des quergestreiften Muskels in Erregung versetzen würden.

Wusste man doch schon lange, dass die langsam sich zusammenziehenden glatten Muskeln nahezu unempfindlich sind für schnell ablaufende elektrische Reize, z. B. für einfache Oeffnungsinduktionsschläge.

---

1) Auch anderen Forschern ist schon das verschiedene Verhalten der obern und untern Fläche des Sartorius aufgefallen. Hermann (Pflüger's Archiv Bd. 4. S. 189) äussert sich hierüber folgendermaassen: „An dünnen Muskeln, welche man einzeln hat gefrieren lassen, z. B. Sartorien bemerkt man meist, dass sie sich bei der Erstarrungsverkürzung anfangs sehr stark auf die Fläche krümmen und zwar mit der Concavität nach der anatomischen Vorderfläche, mit welcher Fläche sie auch der kalten Glasplatte aufgelegen haben mögen.“ Eine offenbar sehr interessante Thatsache, welche darauf hinweist, dass diese beiden Muskelarten sich auch gegenüber von Kälteeinwirkungen verschieden verhalten und die langsamen, wie es scheint, intensiver beeinflusst werden, als die schnellen. Weitere Untersuchungen dürften hierüber Aufklärung verschaffen.

2) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 277 u. f.

[illegible] doch Fick[1]) und Engelmann[2]) in ihren be-
[illegible]suchungen nachgewiesen, dass im allgemeinen lang-
[illegible]nde Reize für träge Muskeln beziehungsweise contrac-
[illegible] schnell verlaufende dagegen für flinke Organe die
[illegible] Reize sind.

Von diesem Gesichtspunkt aus unternahm ich auf Anregung meines hochverehrten Lehrers, Herrn Professor Grützner, hin, dem ich an dieser Stelle für die freundliche Unterstützung und Berathung bei der Arbeit meinen innigsten Dank ausspreche, in dem physiologischen Institut zu Tübingen nachfolgende Untersuchungsreihe, indem ich anstatt der Nerven und Muskeln des flinken Frosches, auf deren physiologisches Verhalten ein vielleicht allzugrosser Theil der gesammten Elektrophysiologie aufgebaut ist, die gleichen Organe der trägen Kröte untersuchte und beide mit einander verglich.

Und um gleich das Ergebniss meiner Untersuchungen hier vorweg mitzutheilen, zeigte sich auch hier bei so nahe verwandten Gebilden, nämlich den schnell und den langsam sich zusammenziehenden quergestreiften Muskeln dasselbe Gesetz, indem die trägen Muskeln mit ihren zugehörigen Nerven wesentlich durch langsam verlaufende, die flinken aber durch schnelle Reize getroffen wurden.

Technische Vorbemerkungen.

Zur Aufzeichnung der Muskelcontractionen benutzte ich bei meinen Versuchen das Grützner'sche Myographion[3]), wie solches mir in verbesserter Form zur Verfügung stand.

Den frühern Myographien gegenüber zeichnet sich dasselbe dadurch besonders aus, dass durch eine Feder, die unter einem bestimmten Winkel zum Schreibhebel angebracht ist, Schleuderungen vermieden und, was die Hauptsache ist, innerhalb gewisser, jedoch für die höchsten Zuckungen ausreichender Grenzen eine constante Spannung des Muskels ermöglicht wird.

1) Beiträge zur vergleichenden Physiologie der irritabeln Substanzen. Braunschweig 1863.

2) Pflüger's Archiv Bd. 3, S. 247. Betreffs der übrigen Litteratur siehe Hermann, Handbuch, Bd. 1, 1. S. 67 u. ff.

3) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 281.

Uebrigens sei hier mitgetheilt, dass bei dem Grützner'schen Myographion in der jetzigen Form nicht mehr die Feder durch Drehung einer Rolle (s. Taf. II, Fig. 4 oben genannter Arbeit) mehr oder weniger gespannt wird, sondern, was sich als viel zweckmässiger erwiesen hat, dass an dem rechtwinkligen Stück *CDE* der horizontale Schenkel *CD* etwas verlängert und durch *E* ein horizontales, rundes Loch gebohrt worden, in welchem ein runder Eisenstab horizontal verschoben und mit einer Schraube in jeder Lage fixirt werden kann. An seinem vordern (*C* zugewandten) Ende trägt er ein Häkchen, in welchem die Feder *FR* eingehängt wird.

Um des Weiteren eine möglichst genaue Einstellung bei Belastungs- und Ueberlastungsversuchen zu ermöglichen und namentlich vom ersten Beginn der Contraktion des Muskels diesen mit der gewünschten Kraft zu spannen, damit er nicht ein wenn auch kleines Stück leer ginge, war ähnlich wie bei dem Myographion von Helmholtz eine Schraube mit steilen Gängen angebracht, die aus dem Glaskasten herausragte und den an ihr in üblicher Weise befestigten Muskel um sehr kleine Grössen zu heben oder zu senken gestattete.

In dieser neuen Form hat sich das Grützner'sche Myographion mir als sehr zweckmässig und bequem bewährt.

Im Verlauf der Arbeit zeigte es sich, dass eben diesem Punkte, der genauen Einstellung, besondere Aufmerksamkeit zugewandt werden musste, sollte nicht eine grobe Fehlerquelle daraus entstehen. Auch jener Mangel, welcher den frühern Myographien mit Gewichtsbelastung mehr oder minder anhaftete, die Schleuderung, liess sich durch Verwendung von Federn leicht vermeiden. Diese letztern, aus verschieden starkem Stahldraht gewickelte Spiralen oder Gummifäden sind alle gleich lang und empirisch graduirt. Sie entsprechen Gewichten von 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 200, 300 gr, so dass, wenn ich den Muskel beispielsweise mit 30 gr Belastung arbeiten lassen will, ich anstatt eines Gewichtes von 30 gr einfach die entsprechende Feder einzuspannen habe.

Als stromzuführende Vorrichtung dienten die von Grützner angegebenen, schreibfederförmigen unpolarisirbaren Elektroden, welche zu jedem Versuche frisch mit Kochsalz- und Zinksulfat-Thon gefüllt wurden und in ihren zuführenden Leitungen auf das Sorgfältigste mit Paraffinüberzug isolirt waren. Die Zu-

führung, Abstufung und Wendung der elektrischen Ströme erfolgte in bekannter Weise.

Eigene Versuche.

Wirkung des Schliessungs- und Oeffnungs-Induktionsstromes.

Eine bekannte physiologische Thatsache ist der Unterschied des Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsstromes in ihrem zeitlichen Verlaufe und ihrer Wirkung auf den Nerv und Muskel[1]). Der physiologisch ausserordentlich viel wirksamere Oeffnungsinduktionsstrom steigt bei den gewöhnlichen Apparaten sehr schnell an bis zu seinem Maximum und fällt jäh wieder zum Nullpunkt ab; der andere (der Schliessungsinduktionsstrom) dagegen zeigt einen flachern, langsamern Verlauf.

Ich zog nun diese beiden Ströme zum Versuche heran: den einen als den Repräsentanten der langsamen, den andern als den der schnell verlaufenden Ströme. Zu diesem Zwecke bediente ich mich eines gewöhnlichen Induktionsapparates, dessen primäre Rolle, in welcher ein Kern von weichen Eisendrähten steckte, ziemlich viele Windungen besass und desshalb zur Bildung von Extracurrenten reichlich Gelegenheit gab. Im Telephon erzeugte der Oeffnungsinduktionsstrom einen scharfen Knack, der Schliessungsinduktionsstrom dagegen einen dumpfen, matten Ton, entsprechend der verschiedenen Schnelligkeit, mit welcher die Telephonplatte hin und her bewegt wurde.

Als Stromquelle dienten zwei mittelgrosse Daniellelemente. Die Leitungsdrähte führten von den Polen zu einer Wippe, von da durch einen Quecksilberunterbrecher zu den Klemmschrauben der Primärspule; die secundäre Spule gab ihre Ströme zu den Elektroden ab. Um Ströme vom Myographion abblenden zu können, leistete ein von Grützner construirter Schlüssel sehr gute Dienste, welcher vor dem bekannten Schlüssel von Du Bois-Reymond, wie mir Herr Prof. Grützner mittheilt, ausser dem Vorzug der Billigkeit, auch den grösserer Uebersichtlichkeit und vollkommener Sicherheit hat; denn der Schlüssel von Du Bois-Reymond leidet oft durch den Gebrauch derart,

1) Du Bois-Reymond, Ges. Abhandlungen 1875, Bd. 1. S. 228.

dass sein Contact infolge mangelhafter Federung des beweglichen dicken Messingbügels ungenügend wird.

Der genannte Schlüssel ist folgendermassen gebaut. Auf einem kleinen runden Grundbrettchen aus hartem Holz oder Ebonit von 9 cm Durchmesser (Fig. 1) sind im Abstand von 5 cm zwei schmale Messingstücke AB und CD parallel aufgeschraubt.





Fig. 1. Schlüssel, offen, $^1/_3$ Gr. Fig. 2. Schlüssel, geschlossen, $^1/_3$ Gr.

An ihren Enden bei A, B, C und D befindet sich je eine Klemmschraube. Zwischen beiden ist ein um seine Mitte drehbares federndes Messingstück angebracht, welches je nach seiner durch Anschlagstifte (1 u. 2) bestimmten Stellung entweder den Strom von A nach B in die Elektroden (s. Fig. 1) und von D und C zurück nach der Stromquelle oder (s. Fig. 2) von A durch den federnden Bügel unmittelbar nach C und infolge dieses kurzen Schlusses gar nicht in die Elektroden eintreten lässt.

Dieser Schlüssel, der auf seiner untern Fläche kleine Eisenspitzen trägt, welche in den Experimentirtisch eingedrückt werden und ihn so festhalten, erwies sich als sehr praktisch und gab vermöge seines federnden Bügels, der sich bei Querstellung auf die vorspringenden Theile der Messingstücke AB und CD hinauf-

reiben musste, stets sichern Contakt. Dass er natürlich bei anderer Einschaltung der Drähte auch zum einfachen Schliessen und Oeffnen eines Stromes benutzt werden kann, darauf sei hier nur flüchtig hingewiesen.

Als Versuchsobjekt benutzte ich den Musculus gastrocnemius von Rana temporaria und Bufo vulgaris. Der Muskel wurde mit dem Nervus ischiadicus sorgfältig herauspräparirt, der Nerv möglichst hoch oben mit einem Faden unterbunden und abgeschnitten; das ganze Nervenmuskelpräparat in 0,6 prozentiger Kochsalzlösung abgespült, der Nerv über die Elektroden im Myographion gebrückt[1]) und der Muskel in oben beschriebener Weise mit dem Schreibhebel befestigt. Als geringste Spannung diente ein Gummifaden, der einem Gewichte von etwa 7 gr entsprach.

Ich begann mit dem Krötenmuskel und liess ihn Minimalzuckungen, wie v. Kries[2]) sie nennt, aufschreiben, das heisst, ich suchte diejenigen geringsten Stromstärken auf, die eben noch eine Zuckung auslösten. Zu diesem Behufe musste für den Schliessungsinduktionsstrom ein nicht viel geringerer Rollenabstand gewählt werden, als für den Oeffnungsinduktionsstrom, um in beiden Fällen gleich hohe minimale Zuckungen zu bekommen. Im Mittel von mehreren Versuchen betrug der Rollenabstand 14 beziehungsweise 17 cm, das heisst mit anderen Worten: der Oeffnungsinduktionsschlag ist hier verhältnissmässig wenig wirksam.

Uebrigens zeigen die Minimalzuckungen sonst nichts Bemerkenswerthes und sind, so weit man sehen kann, kaum von einander

1) Von der unmittelbaren Reizung des Muskels, die sich ja durch grössere Einfachheit empfiehlt und auch vielfach benutzt wurde, nahm ich Abstand. Da die elektrische Erregung eines Muskels ja nach der Richtung des Stromes an verschiedenen Stellen und in Folge der unregelmässigen Gestalt fast aller Muskeln auch mit verschiedener Dichte stattfindet, werden oder können wenigstens bei mässigen Reizen stets verschiedene Antheile eines Muskels getroffen werden, bald mehr die langsamen, bald mehr die schnellen, bald die einen hinter den andern, wie dies Grützner (Recueil, zoolog. suisse 1884 T. 1, p. 665) und Tigerstedt (Archiv f. Anat. u. Physiol., Phys. Abthl., Suppl. 1885, S. 198 u. ff.) gesehen haben. Allen diesen Schwierigkeiten geht man bei mittelbarer Reizung des Muskels von seinen Nerven aus dem Wege.

2) Archiv f. Anatomie u. Physiolog. (Physiol. Abthlg.) 1884 S. 337.

verschieden, was v. Kries auch für die Minimalzuckungen des Froschmuskels bei Zeit- und Momentanreizen (s. S. 352 seiner Arbeit) gefunden hat (s. Fig. 3a und 3b).



Fig. 3a. Minimalzuckung eines Krötengastrocnem., erzeugt durch den Schliessungsinduktionsstrom.



Fig. 3b. Minimalzuckung desselben Krötengastrocnem., erzeugt durch den Oeffnungsinduktionsstrom.

Anders gestaltete sich das Resultat bei höhern Zuckungen. Wie mir Herr Prof. Grützner mittheilt, hatte er bereits ungemein verschiedene Zuckungen von dem Wadenmuskel der Kröte erhalten, je nachdem er denselben bei mässiger Spannung von seinem Nerven aus mit dem Schliessungs- oder Oeffnungsschlag des betreffenden Apparates gereizt hatte. Bei Vermeidung jeder Schleuderung erhielt er Kurven wie nachstehende (s. Fig. 4a und b).



Fig. 4a. Wadenmuskel der Kröte. Schliessungsinduktionszuckung (*SJZ*).



Fig. 4b. Wadenmuskel der Kröte. Oeffnungsinduktionszuckung (*ÖJZ*).

Denselben Unterschied, wenn auch nicht in so auffälligem Grade, zeigen die Figuren 5a und b, welche Zuckungskurven des Wadenmuskels der Kröte darstellen. Die Spannung der Feder betrug 15 gr ($F = 15$ gr), die Entfernung der Spulen war in beiden Fällen gleich (Rollenabstand $RA = 11$ cm); die Ströme waren gleichgerichtet, nicht wie in dem Fall von Grützner, in welchem die Zuckungen kurze Zeit hintereinander gezeichnet wurden, entgegengesetzt.



Fig. 5a. Wadenmuskel der Kröte. *S J Z*. $F = 15$ gr, $RA = 11$ cm.



Fig. 5b. Wadenmuskel der Kröte. *Ö J Z*. $F = 15$ gr, $RA = 11$ cm.

Es fällt auf, dass die Zuckungen nahezu gleich hoch sind, aber in ziemlich verschiedener Zeit ihren Höhepunkt erreichen. Die durch den Schliessungsinduktionsstrom erzeugte Zuckungskurve (*SJZ*) besitzt einen erheblich längern Anstieg als die entsprechende Oeffnungszuckungskurve (*ÖJZ*).

Es ist die Dauer des Anstiegs der *SJZ* (Fig. 5a) = 0,13 sec.
„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 5b) = 0,11 sec.
„ „ „ Höhe „ „ „ *SJZ* (Fig. 5a) = 1,0 cm.
„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 5b) = 1,1 cm.

Die Vergrösserung ist bei dieser und allen folgenden Kurven eine etwa fünffache.

Als Mittel von verschiedenen derartigen Versuchen, bei denen hauptsächlich darauf gesehen wurde, dass die Zuckungen durch die beiden Ströme möglichst gleich hoch wurden, ergab sich der Unterschied von 0,02 sec im Anstieg. Diese Ergebnisse erhält man im Uebrigen nur bei mässiger Spannung ($F = 15$ gr) und mässiger Reizstärke ($RA = 11$ cm).

Verstärkt man die Spannung auf 40 bis 50 gr, so wird bei gleicher Stromstärke (gleiche Entfernung der Rollen) die Schliessungsinduktionszuckung allmählich grösser als die Oeffnungsinduktionszuckung. Geht man schliesslich bei selbstverständlich frischen und unversehrten Muskeln zu noch grössern Spannungen, etwa zu solchen von 100 gr über, wobei die Reizströme entsprechend verstärkt werden, so ergeben sich Kurven, wie Fig. 6 a und b veranschaulichen. Die durch den Oeffnungsinduktionsstrom erzeugte Kurve wird bei dieser Spannung sehr klein, während die Schliessungszuckung sich noch ziemlich hoch erhält.

Zu gleicher Zeit verlängerte sich regelmässig bei Reizung mit dem Oeffnungsinduktionsstrom die Anstiegsdauer.



Fig. 6a. Wadenmuskel der Kröte. *SJZ*. $F = 100$ gr.



Fig. 6b. Wadenmuskel der Kröte. *ÖJZ*. $F = 100$ gr.

Es ist die Dauer des Anstiegs der *SJZ* (Fig. 6a) = 0,125 sec.
„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 6b) = 0,16 sec.
„ „ „ Höhe „ „ „ *SJZ* (Fig. 6a) = 1,0 cm.
„ „ „ „ „ „ „ *ÖJZ* (Fig. 6b) = 0,5 cm.

Ganz anders verhält sich nun, wie allgemein bekannt, das entsprechende Nervenmuskelpräparat des Frosches. Hier ist der Oeffnungsinduktionsstrom unter allen Umständen viel wirksamer als der Schliessungsinduktionsstrom. Dies gilt zunächst für Minimalzuckungen, für welche im Mittel Rollenabstände von 30 beziehungsweise 14 cm nöthig [1]) waren. Dann aber in vielleicht noch höherem Masse für Zuckungen mittlerer Grösse. Da ist der Schliessungsinduktionsstrom noch sehr wenig wirksam, während der Oeffnungsinduktionsstrom schon recht kräftig wirkt. Dass man bei gleichem Rollenabstand und mässiger Spannung des Muskels Kurven erhält, wie Fig. 5 a und b, in denen die Wirkung des Oeffnungs- und Schliessungsinduktionsstroms nahezu gleich, ja sogar die Schliessungszuckung grösser ist, kommt beim Frosch nicht vor.

Der Unterschied wird nach unsern Erfahrungen aber immer grösser mit dem Wachsen der Spannung. Je grösser diese bei dem Krötenmuskel wird, um so besser wirken die langsam ansteigenden, um so weniger die schnell ansteigenden Reize. Beim Frosch da-

1) Bei der Kröte gelten — alles Uebrige gleich gesetzt — die Zahlen 17 und 14.

gegen ist von alldem nicht nur nichts zu bemerken, sondern es gilt geradezu das Entgegengesetzte. Steigert man bei ihm die Spannung (auf 50 bis 100 gr), so wird der langsam ansteigende Schliessungsinduktionsstrom bald ganz unwirksam, der Oeffnungsinduktionsstrom von gleicher Stärke löst aber immer noch eine, wenn auch geringe Zusammenziehung aus.

Ich unterlasse es diese ja für den Froschmuskel allgemein bekannten Thatsachen durch besondere Kurven zu belegen.

Wirkung von Magnetinduktionsströmen verschiedenartigen Anstiegs.

Der Frage, wie verschiedene magnetoelektrische Induktionsströme auf das Nerv-Muskelpräparat wirken, ist Grützner[1]) in seiner Arbeit über die Stöhrer'sche Maschine zuerst näher getreten. Veranlasst durch diese Untersuchungen hat er einen Apparat angegeben, mittelst welchem sich Induktionsströme von verschieden schnellem Anstieg erzeugen lassen. Das Princip der Maschine ist folgendes:

Die Pole eines hufeisenförmigen Stahlmagneten seien mit je einer Drathspule umgeben und die Verbindungen der Spulenenden so geführt, dass sie einmal hintereinander, das andere Mal neben einander geschaltet werden können. Wird nun in das magnetische Kraftfeld der beiden Pole ein Stück weiches Eisen gebracht, so wird die magnetische Kraft durch dieses gebunden und zwar um so mehr, je näher es gebracht wird und je grösser es — bis zu einem gewissen Grade — ist. Durch die Abschwächung der magnetischen Kraft wird nach der Lenz'schen Regel in den Drahtspulen ein Strom inducirt, welcher den im Stahlmagneten selbst gedachten circulären Strömen gleich gerichtet ist, bei der Entfernung des Eisens — dem Wiederansteigen des Magnetismus zur frühern Höhe — entgegengesetzt ist.

Die Art und Weise nun, in welcher der Magnetismus gebunden wird, ist maassgebend für den Anstieg des inducirten Stromes; je langsamer dies geschieht, um so flacher steigt der Strom an, je schneller, um so steiler erhebt er sich zu seinem Maximum.

1) Pflüger's Archiv Bd. 41. S. 256 u. Tageblatt der Naturforscher-Vers. zu Köln 1889 S. 70.

Grützner versuchte dies zuerst dadurch zu erreichen, dass er aus Scheiben von weichem Eisen, welche sich zwischen den Spulen des Magneten drehten, verschieden geformte Löcher ausschneiden liess. Indem die peripher durchlöcherten Theile der Scheibe bei den Polen vorüber gingen, wurden je nach der Gestalt derselben verschiedenartige Ströme inducirt. Da jedoch die Herstellung der eisernen Scheiben, die ähnlich denjenigen einer Sirene an ihrer Peripherie viele Löcher von verschiedener Gestalt trugen, auf Schwierigkeiten stiess, verwendete er statt dieser durchlöcherten Scheiben eiserne Zähne von verschiedener Form, die verhältnissmässig leicht nach einem Modell zu feilen sind und auf die Peripherie einer Scheibe von Messing aufgesetzt werden konnten.

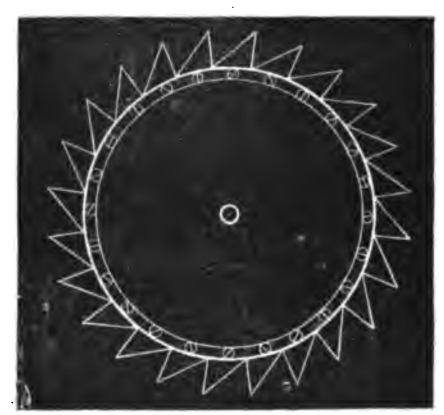


Fig. 7. Scheibe mit asymmetrischen Zähnen besetzt.

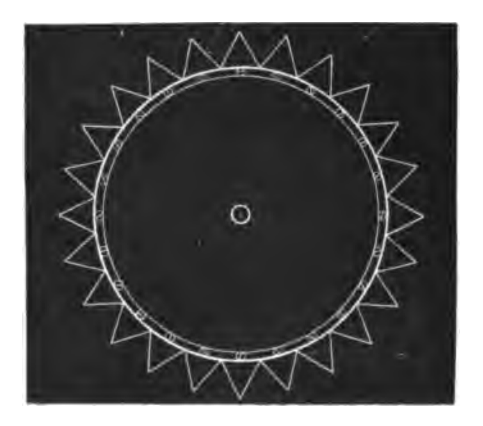


Fig. 8. Scheibe mit symmetrischen Zähnen besetzt.

Fig. 7 und 8 veranschaulichen zwei mit einfachen Zähnen (24 Stück) besetzte Scheiben. Fig. 7 hat asymmetrische Zähne, Fig. 8 symmetrische Zähne.

Jeder Zahn erzeugt bekanntlich zwei einander entgegengesetzte Ströme und zwar sind bei den symmetrischen Zähnen, wenn selbstverständlich die Pole zu ihnen symmetrisch gestaltet sind, diese beiden Ströme von gleichem oder nahezu gleichem Verlauf; bei den asymmetrischen dagegen nicht. Legt man daher die Elektroden des Apparates an einen Froschnerven nahe seinem Querschnitte, wo wesentlich absteigende Ströme wirksam sind, so hat das Umlegen eines in den Reizkreis eingeschalteten Kommutators kaum Einfluss auf die Erregung des Nerven, beziehungsweise seines Muskels. Setzt man dagegen die asymmetrischen Zähne ein, so ist dies von sehr bedeutendem Einfluss; denn hier sind so wie die Seiten der Zähne, auch die durch sie erzeugten Ströme verschieden. Die flach ansteigende Seite des Zahns erzeugt auch einen flach ansteigenden Strom, die jäh abfallende dagegen einen jäh ansteigenden. Dreht man also die Scheibe stets in der gleichen Richtung, so entstehen einmal, auf den Nerven bezogen, absteigende von langsamem Verlauf und aufsteigende von schnellem Verlauf, im andern Falle bei Wendung der Wippe absteigende von jähem Verlauf und aufsteigende von trägem Verlauf. Die letztere Wippenlage würde sich also am Querschnitt des Froschnerven bei Weitem wirksamer erweisen als die umgekehrte, was auch thatsächlich der Fall ist, wie man sich leicht durch Versuche in ganz ähnlicher Weise wie Grützner an der Stöhrer'schen Maschine und Kraft an dem Telephon bez. Mikrophon[1]) überzeugen kann.

Grützner nannte ausserdem den Apparat Reizsirene desshalb, weil man durch ihn auf sehr einfache Weise Klänge von verschiedener Stärke, Höhe und Farbe erzeugen kann. Man hat die von den Spulen abgehenden Drähte nur zu einem Telephon zu leiten und hört dann bei langsamer Drehung einzelne Stösse, bei schneller dagegen Klänge, die selbstverständlich mit der Drehungsgeschwindigkeit an Höhe zunehmen. Ihre Stärke kann ebenfalls auf mannigfache Art verändert werden und was die Hauptsache ist, je nach der Gestalt der Zähne auch ihre Klangfarbe. So

---

1) Siehe Grützner, Pflüger's Archiv Bd. 41 S. 260 und Kraft Bd. 44, S. 352.

gaben die symmetrischen Zähne bei gleicher Drehungsgeschwindigkeit einen ganz andern Klang, als die asymmetrischen, die ersten einen mehr dumpfen u-artigen, die letztern einen schärfern mehr ä-artigen.

Diese elektrische Sirene von Grützner ist von den übrigen elektrischen Sirenen ebenso verschieden wie das Bell'sche Telephon von dem ursprünglichen Telephon von Reis. In diesem wie in den elektrischen Sirenen, z. B. derjenigen von Weber[1]), werden die Töne erzeugt durch mehr oder weniger häufige Schliessung und Oeffnung von Strömen. Es kann also durch diese Apparate nur die Tonhöhe und nebenher die Tonstärke, aber nicht die Tonfarbe beeinflusst beziehungsweise übertragen werden. Anders bei dem heutigen Telephon und der Sirene von Grützner. Ersteres gestattet die Uebertragung von Klängen verschiedenster Färbung, letztere ermöglicht deren Erzeugung.

Werden die Pole der Magneten, welche die Spulen tragen, nahezu linear genommen, so ist die Gestalt der Zähne, welche durch sie hindurch zu gehen haben, um bestimmte, ihren Formen entsprechende elektrische Ströme zu erzeugen, verhältnissmässig einfach. Thatsächlich gelingt es, allerdings mehr auf dem Wege des tastenden Versuchs als der Rechnung, je nach der Gestalt der Zähne verschieden vokalisch gefärbte Klänge zu bilden, die Vokale gewissermaassen elektrisch zusammen zu setzen. Weitere hierüber anzustellende Versuche, mit denen sich augenblicklich Herr Prof. Grützner beschäftigt, dürften mancherlei interessante Ergebnisse liefern. Soviel über den Apparat im Allgemeinen. Im besondern ist er nun folgendermassen gebaut:

Ein Stahlmagnet *A* (von einem Siemens'schen Telephon (s. Fig. 9.) ruht auf zwei Säulen *B* und *B'*, vorn an seinen Polen trägt er mittelst eiserner Ansätze die beiden Induktionsspulen *C* und *C'*, welche ihre Drahtenden zu den 4 Polklemmen I—IV abgeben. Die Spulen lassen sich mit ihren Kernen, welche je aus 3 Theilen bestehen, vermittelst der Schrauben *D* und *D'* mehr oder weniger von einander entfernen, sodass der intrapolare Raum zwischen *C* und *C'* vergrössert oder verkleinert und so die Intensität der inducirten Ströme verkleinert beziehungsweise vergrössert werden kann.

---

1) Annalen der Phys. u. Chemie. N. F. Bd. 24. S. 671.

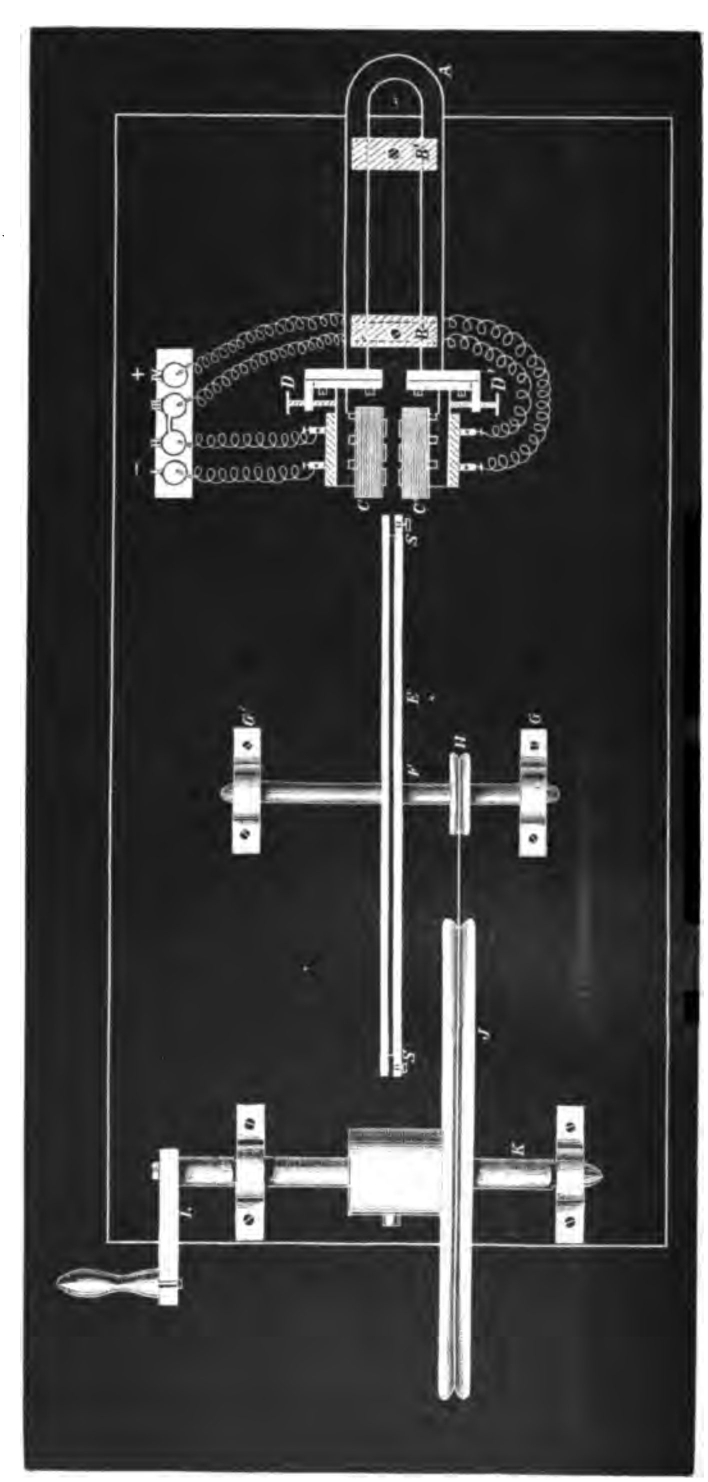


Fig. 9. Reizsirene von oben. Etwa $^1/_3$ nat. Grösse.

E stellt eine ungefähr $1/_2$ cm starke Messingscheibe von 22 cm Durchmesser dar, welche mit der in den beiden Lagern *G* und *G'* sich drehenden Axe in fester Verbindung steht. Mittelst des Triebes *H* lässt sich *E* durch Drehung der Kurbel L beziehungsweise der Scheibe *I* vermittelst eines Motors in schnelle Bewegung setzen.

Auf der Peripherie der Scheibe *E* nun verläuft rings eine Nute, in welcher sich durch seitlich angebrachte kleine Schrauben *S* Zähne von weichem Eisenblech in beliebiger Form und Grösse aufschrauben lassen, wie die Figuren 7 und 8 zeigen.

Zu meinen Versuchen, bei denen es darauf ankam, einfache, nicht sich wiederholende (tetanisirende) Ströme von sehr steilem, und solche von möglichst langsamem Verlaufe zu bekommen, wählte ich einen Ring von Eisenblech in der Form, wie ihn (Fig. 10

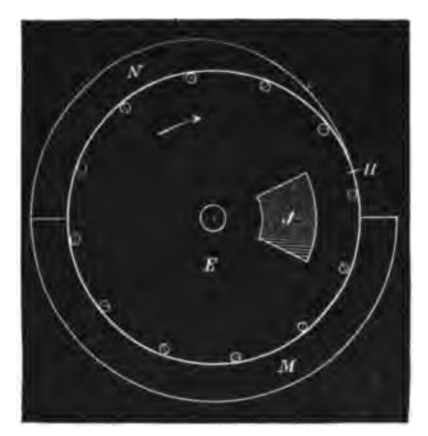


Fig. 10.

veranschaulicht. Derselbe besteht aus den beiden Theilen *M* und *N*, von welchen der eine *N* (bei Drehung der Scheibe nach rechts) von seiner Basis bei *H* auf der Messingscheibe ganz flach bis zu seiner grössten Höhe ansteigt, *M* dagegen in der Richtung des Scheibenradius abgeschnitten ist.

Denken wir uns nun das ringartige Eisenstück *MN* zwischen die linearen Pole des Magneten *A* (Fig. 9) genommen und zwar von dem Punkte *H* aus, so tritt (bei Rechtsdrehung der Scheibe) ein immer höheres Stück des Eisenringes zwischen die Pole des Magneten und dessen Kraft wird immermehr gebunden. Dieser langsamen Abschwächung des Magnetismus entspricht ein in den Spulen verlaufender Magnetoinduktionsstrom; es wird derselbe um



Fig. 11a. Wadenmuskel des Frosches. Scharfer Zahn.

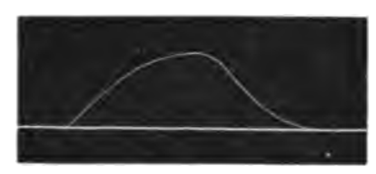


Fig. 11b. Wadenmuskel des Frosches. Flacher Zahn.

Es ist die Dauer des Anstiegs	(Fig. 11 a scharfer Z.) = 0,055sec.
" " " " " "	(Fig. 11 b flacher Z.) = 0,06 sec.
Es ist die Höhe der Zuckung	(Fig. 11 a scharfer Z.) = 1,4 cm.
" " " " " "	(Fig. 11 b flacher Z.) = 1,0 cm.

Bei grösserer Belastung (z. B. F = 50 gr) war der Unterschied in der Höhe der Zuckung wohl noch vorhanden, aber nicht mehr so bedeutend. Immer aber blieb, ähnlich wie der schnell ansteigende Oeffnungsinduktionsstrom, der Strom des scharfen Zahns wirksamer als der des flachen.

Ganz anders der Krötenmuskel. Dieser reagirte bei derselben Drehungsgeschwindigkeit wie zuvor und bei einer für ihn im Verhältniss zum Froschmuskel mässigen Spannung — am deutlichsten etwa bei einer Spannung von 50 gr — bedeutend stärker auf den langsamen als auf den schnellen Reiz. Der Unterschied ist viel bedeutender als in den schon beschriebenen Fällen mit Reizung durch Schliessungs- und Oeffnungsinduktionsströme, (vergl. Fig. 12 a und 12 b mit Fig. 5 a und 5 b), weil offenbar der Zeitunterschied in dem Verlauf der beiden magnetoelektrischen Ströme viel grösser ist, als derjenige zwischen den beiden Strömen des gewöhnlichen Induktionsapparates. Möglicherweise ist auch die Intensität des zweiten (bei dem Frosch wirksameren) Stromes vom scharfen Zahn etwas geringer als die desersten.

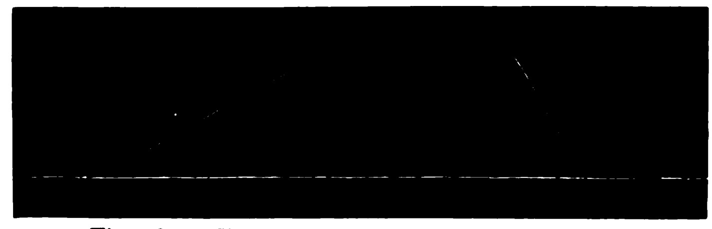


Fig. 12a. Wadenmuskel der Kröte. Flacher Zahn.



Fig. 12b. Wadenmuskel der Kröte. Scharfer Zahn.

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 12a flacher Z.) = 0,17 sec.
„ „ „ „ „ „ „ „ (Fig. 12b scharfer Z.) = 0,12 sec.
Es ist die Höhe der Kurve (Fig. 12a) = 2,0 cm.
„ „ „ „ „ „ (Fig. 12b) = 0,6 cm.

Wurde die Umdrehungsgeschwindigkeit so gewählt, dass Ströme von möglichst verschiedenem Anstieg erzeugt wurden, d. h. passirte der scharfe Zahn schnell und der flache langsam, und achtete ich darauf, dass unter den besagten Bedingungen die Zuckungen gleich hoch ausfielen, so war auch der Unterschied im Anstieg beider Kurven noch sehr deutlich. Wie die beiden folgenden Kurven (siehe Fig. 13a und b) zeigen, welche bei einer Spannung von 15 gr gewonnen sind, dauert der:



Fig. 13a. Wadenmuskel der Kröte. Scharfer Zahn.



Fig. 13b. Wadenmuskel der Kröte. Flacher Zahn.

Anstieg der Kurve (Fig. 13a scharfer Z.) = 0,105 sec.
„ „ „ (Fig. 13b flacher Z.) = 0,13 sec.
Die Höhe der Kurven 13a und b = 1 cm.

Bei sehr starker Belastung verschwand allmählich die durch den scharfen Zahn erzeugte Zuckung, während der flache Zahn fortwirkte. Es bestanden also ganz ähnliche Verhältnisse wie bei den Reizungen mit Induktionsströmen: Der Krötenmuskel wird hiernach überhaupt durch langsam ansteigende Ströme besser gereizt, als durch schnell ansteigende und diese Wirkung tritt höchst beachtenswerter Weise um so deutlicher hervor,

je stärker der Muskel gespannt wird, eine Thatsache, auf die wir später noch zurückkommen werden.

Wirkung schnell und langsam ansteigender galvanischer Ströme.

Nachdem nun verschieden steil verlaufende Induktionsströme bei Frosch und Kröte erhebliche Unterschiede in der Art der Zusammenziehung ergeben hatten, war es von Interesse, auch galvanische Ströme von langsam und schnell verlaufendem linearem Anstieg in ihrer Wirkung auf den Frosch- und Krötenmuskel zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke benutzte ich einen sehr sinnreichen und zweckmässigen Apparat, das v. Kries'sche[1]) Rheonom, welches mir von dem Erfinder auf einige Zeit in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt wurde, wofür ich ihm hier meinen besten Dank ausspreche.

Der Zweck des Apparates besteht darin, einen galvanischen Strom in einem Leitungskreis von Null zu einem gewissen Werte ansteigen zu lassen und dann auf dieser Höhe constant zu erhalten, also Ströme zu erzeugen, wie sie Fig. 14 für gleiche Stromintensitäten veranschaulicht.



Fig. 14.

Indem ich betreffs der Einzelheiten in dem Bau und der Handhabung des Apparates auf die genannte Arbeit von v. Kries verweise, sei hier nur soviel mitgetheilt, dass ich selbstverständlich dessen Anweisungen folgte und bei der Kürze der mir zugemessenen Zeit mich im Wesentlichen auf zwei Fälle beschränkte.

Da es nämlich für meine Zwecke darauf ankam, einander zwei Ströme von sehr verschiedenem Anstieg gegenüber zu stellen, so wählte ich einerseits den direkten Schluss durch Quecksilbercontact. andererseits einen Stromanstieg von $^1/_{10}$ Secunde. Bestimmt wurde diese Zeitdauer derart, dass ich den Abstand der beiden Zink-

1) Archiv für Anatomie und Physiolog. (Physiol. Abthl.) 1884 S. 337 und 1885 S. 79.

plättchen, durch welche der Zinkstift passirte, mit zwei Wachspfropfen absperrte und diesen Raum mit Quecksilber ausfüllte. Sobald nun der Stift an die Stelle kam, wo er vorher Strom bekam, gab er Contakt mit dem Quecksilber. An der Stelle der andern Elektrode aber trat er wieder aus dem Quecksilber heraus. Die Dauer dieses Contaktes wurde nun in einfacher Weise auf eine schnell rotirende Trommel verzeichnet und gemessen.

Ich begann meine Versuche mit dem Krötenmuskel und zwar mit Schliessungszuckungen, wie solche einerseits durch momentanes Ansteigen des reizenden Stromes (Momentanreiz *MR*), andererseits durch langsames (Zeitreiz *ZR*) vom Muskel ausgelöst wurden. Es zeigte sich, dass Minimalzuckungen bei Momentan- und Zeitreiz sowohl in Form als Höhe keinen nachweisbaren Unterschied ergaben (siehe Fig. 15a und b), wie dies auch von v. Kries und ich in Uebereinstimmung mit genanntem Autor an Fröschen beobachtet haben. Erwähnenswerth ist, dass die Stromstärken von Momentan- und Zeitreizen zur Auslösung von Minimalzuckungen bei der Kröte nahezu gleich hoch waren (oder wie v. Kries sich ausdrücken würde, der Reizungsdivisor nahezu = 1 war), während sie bekanntlich beim Frosch (wie auch v. Kries angibt) sehr verschieden sind zu Gunsten des viel wirksameren Momentanreizes. Es war bei letzterem nicht selten für Zeitreiz ein Abstand von 50 cm, für Momentanreiz ein solcher von 6 cm am geraden Compensator erforderlich, d. h.. Grössenverhältnisse, welche diejenigen von v. Kries (s. dessen Abhandl. S. 349, Reihe 5 u. 7) noch um ein weniges übertreffen.



Fig. 15a. Minimalzuckung des Wadenmuskels der Kröte durch Momentanreiz (*MR*).



Fig. 15b. Minimalzuckung des Wadenmuskels der Kröte durch Zeitreiz (*ZR*).

Wurde nun der Krötenmuskel stärker gereizt, die Klemme des Compensators auf 45 cm Abstand gebracht, so ergab der Zeitreiz eine ziemlich höhere Zuckung als unter gleichen Bedingungen der Momentanreiz (die Spannung betrug 15 gr). (Siehe Fig. 16a und b.)



Fig. 16a. Wadenmuskel der Kröte, Momentanreiz (*MR*).



Fig. 16b. Wadenmuskel der Kröte, Zeitreiz (*ZR*).

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 16a *MR*) = 0,15 sec.
„ „ „ „ „ „ „ „ (Fig. 16 b *ZR*) = 0,185 sec.
Die Höhe der Zuckung (Fig. 16 a) = 2,3 cm.
„ „ „ „ (Fig. 16 b) = 2,6 cm.

Sollten bei Momentanreiz dieselben Zuckungshöhen erreicht werden, wie bei Zeitreiz, so musste die Stromstärke bedeutend, nahezu auf das Doppelte erhöht werden. Es entsprechen einander dann Abstände der Compensatorklemme von 45 und 95 cm.

So lagen die Verhältnisse beim Krötenmuskel; ganz anders — wie nach dem frühern zu erwarten — gestalteten sie sich bei dem schnellen Froschmuskel. Gerade das Umgekehrte war hier der Fall.

Um mittlere Zuckungshöhen zu erhalten, musste für den Zeitreiz fast die ganze Stromstärke der zwei Daniellelemente angewandt werden, während der Momentanreiz schon bei einem Klemmenabstand von 10 cm dieselbe Kurvenhöhe ergab. Was die Dauer des Anstiegs der Zuckungskurven anbelangt, so konnte diese am besten dann verglichen werden, wenn Momentan- wie Zeitreiz bei geringer Belastung (Federspannung = 15 gr) gleich hohe Zuckungen auslösten. Es zeigte sich bei beiden, Frosch- wie Krötenmuskel ganz unverkennbar eine längere Anstiegsdauer beim

Zeitreiz als beim Momentanreiz (siehe die Fig. 17 a und b und 18 a und b), Verhältnisse, welche ja v. Kries (l. c. S. 360) ebenfalls festgestellt, wenn auch anders als Grützner gedeutet hat.

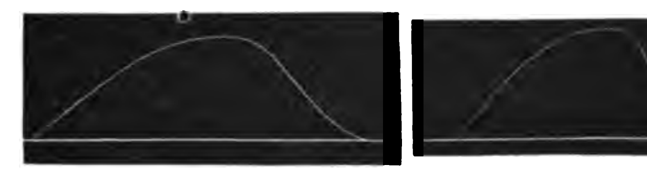


Fig. 17 a. Wadenmuskel der Kröte (*ZR*).

Fig. 17 b. Wadenmuskel der Kröte (*MR*).

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 17 a *ZR*) = 0,09 sec.
" " " " " " " " (Fig. 17 b *MR*) = 0,07 sec.
Es ist die Höhe der Zuckung (Fig. 17 a *ZR* = 1,35 cm
" " " " " " (Fig. 17 b *MR*) = 1,40 cm.





Fig. 18 a. Wadenmuskel des Frosches (*ZR*).

Fig. 18 b. Wadenmuskel des Frosches (*MR*).

Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 18 a *ZR*) etwa [1]) = 0,08 sec.
" " " " " " " " (Fig. 18 b *MR*) etwa = 0,065 sec.
Es ist die Höhe der Kurve (Fig. 18 a *ZR*) = 1,2 cm.
" " " " " " (Fig. 18 b *MR*) = 1,15 cm.

Beim Frosch wirken also, wenn wir uns die einzelnen Reize in der üblichen graphischen Form schematisiren, zur Auslösung von Minimalzuckungen gleich stark momemtan ansteigende Ströme (Anstiegszeit = 0) von sehr geringer Intensität (s. Fig. 19), nämlich der Intensität *AB* und langsamer ansteigende Ströme wie etwa *AC*, *AD*, *AE* von um so bedeutenderen Intensitäten *CF*, *DG*, *EH*, je länger sie zu diesem Anstieg brauchen, nämlich *AC* die Zeit *AF*, *AD* die Zeit *AG* und *AE* die Zeit *AH*.

Bei der Kröte dagegen sind zur Auslösung von Minimalzuckungen einander gleichwerthig momentan ansteigende und langsam (in $^1/_{10}$ Sec.) ansteigende von nahezu gleicher Intensität, *AB*, in

1) Die Geschwindigkeit der Trommel war hier etwas vergrössert, wurde aber erst später annähernd bestimmt.



Fig. 19.

Fig. 20 eben so wirksam wie $AB_{,,}$ (AH = 0,1 Sec). Zur Auslösung von mittelgrossen Zuckungen erweisen sich die langsamern aber noch viel wirksamer.



Fig. 20.

Nach meinen Versuchen (oben S. 375) würde der Strom AB von der Intensität AB und der Anstiegsdauer = 0 gleichwertig sein dem Strom AE von der Intensität EH (etwa = $\frac{1}{2}$ AB) und der Zeit AH = 0,1 Sekunde. Würde man, wozu ich, wie gesagt, keine Zeit hatte, schneller ansteigende Ströme auf ihre Wirkung untersuchen, so ergäbe sich höchst wahrscheinlich, dass einander gleichwerthig sind die Ströme AB, AC, AD, AE von den bezüglichen Anstiegszeiten 0, AF, AG und AH, also gerade umgekehrt wie beim Frosch. Hiezu bemerke ich, dass die ausgezogenen Linien AB, $AB_{,}$, $AB_{,,}$ und AE durch Versuche festgestellt, die punktirten dagegen als höchst wahrscheinlich anzunehmen sind.

Es ist hier vielleicht der Ort, auf die oben angedeutete Meinungsverschiedenheit und insonderheit auf die Anschauungen von Grützner, die ich mir hier mit seinen eignen Worten wiederzugeben erlaube, etwas näher einzugehen. v. Kries sagt: Wenn

ein Muskel in Folge von verschiedener Reizung einmal schnell, das andere Mal wenn auch nicht langsam, so doch weniger schnell zuckt, so sind das ganz dieselben Faserelemente, welche diese beiden verschiedenen Wirkungen hervorgebracht haben. Grützner findet dies höchst unwahrscheinlich und bestreitet es. Er behauptet natürlich nicht, wie aus der Darstellung von v. Kries hervorgehen könnte, dass in dem einen Falle bei schneller Zusammenziehung nur die einen und bei etwas langsamerer Zusammenziehung nur andere Muskelelemente zur Thätigkeit kommen. Das ist ganz sicher nicht der Fall und auch nie von Grützner behauptet worden. (Es tritt dies vielleicht nahezu ein bei den chemischen Reizungen curarisirter Muskeln, wie sie oben (S. 354) beschrieben wurden.)

Bestände z. B. ein Muskel aus 100 flinken und 30 langsamen Fasern, so ist es bis jetzt noch Niemandem gelungen, durch Reizung vom Nerven aus nur die 100 schnellen oder nur die 30 langsamen Fasern zu reizen. Wohl aber gelingt es nach der Anschauung von Grützner bei einem passenden Reiz vielleicht 50 schnelle und 5 langsame, bei einem andern ebenso viel schnelle und 20 langsame u. s. f. zu treffen, so dass Curven von verschiedener Anstiegsdauer entstehen. Im Allgemeinen aber dürfte eine bedeutende Mehrheit von Muskelfasern in einem Muskel ihm immer den Charakter seiner Zuckung aufprägen, selbstverständlich nur bei unseren unvollkommenen künstlichen Reizmethoden, nicht etwa bei den normalen physiologischen Reizen im lebenden Organismus.

Was Grützner in seiner Anschauung bestärkt, ist zunächst der Umstand, dass thatsächlich in den meisten hier in Betracht kommenden Muskeln zweierlei Fasern vorhanden sind und je nach ihrer Mehrheit den Charakter der Zuckung bestimmen (S. 354), dass ferner je nach der Art und Stärke des Reizes (S. 355) andere Fasern in ein und demselben Muskel sich zusammenziehen, wie dies in ähnlicher Weise bei ganzen Muskelcomplexen der Fall ist. (Verschiedene Erregbarkeit der Beuger und Strecker, Oeffner und Schliesser u. s. w.)

Für Grützner ist ein Muskel, den man als anatomische Einheit zu betrachten gewohnt ist, durchaus keine physiologische Einheit, sondern er ist eine Mischung von einer grossen Menge von mindestens zwei, vielleicht von noch mehr physiologisch

verschiedenen Elementen, die, wie er sich ausdrückt, eben so wenig alle zu gleicher Zeit und alle gleich schwach in Action gerathen, wie jeder Mann eines ganzen Armeecorps, welches nur eine kleine strategische Aufgabe zu lösen hat, an dem Gefechte in geringem Maasse Theil nimmt. Hier wie dort werden, wenn eine geringe Arbeit zu leisten, nur wenig Elemente zur Thätigkeit herangezogen, die anderen ruhen.

Zu einer ganz ähnlichen Anschauung ist übrigens kürzlich — freilich auf ganz anderem Wege, nämlich durch die Eigenschaften der Dehnungscurve eines Muskels — Dreser[1]) geführt worden. Dieselbe lässt sich nämlich am einfachsten deuten, wenn man annimmt, dass ein Muskel aus verschieden langen Einzelelementen besteht, die bei der Dehnung desselben natürlich in verschiedenem Grade in Anspruch genommen werden.



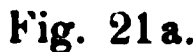

Fig. 21a.


Fig. 21b.

Vorstehende schematische Zeichnung (s. Fig. 21 a) wird die Verhältnisse klar machen. *AB* sei eine feste Holzleiste, an welcher eine Menge verschieden langer, aber sonst gleichartiger Gummifäden befestigt ist. Die mittelsten *mm*, sind die kürzesten, die seitlichen *AC* und *BD* sind die längsten.

Es werden nun an eine zweite Holzleiste wie *AB* die ver-

1) Archiv für experimentelle Pathologie u. Pharmakol. Bd. 27, S. 50.

schiedenen Gummifäden *AC*, *mm* u. s. w. in gleicher Weise wie an *AB* befestigt und diese zweite Leiste *C,D,* (s. Fig. 21 b) parallel *AB* in der Entfernung *A,C,* etwa = *AC* gehalten, dann ist *A, B, C, D,* in Fig. 21b das Modell eines unthätigen Muskels im thierischen Körper. Ein Theil seiner Fasern, hier die mittleren (schraffirt gezeichneten) sind in einer gewissen Spannung, andere in geringerer und noch andere, die seitlichen, sind ganz schlaff. Sie können sogar ein wenig gekrümmt in ganz flachem Bogen verlaufen, wodurch ein derartiges Muskelschema, wenn die Leisten *A,B,* und *C,D,* ganz kurz genommen werden, einem bauchigen Muskel (etwa dem biceps brachii) ähnlich wird.

Spannen wir nun das Muskelschema mit immer grösseren Gewichten, so werden zwar die alten Elemente immer stärker, aber auch fortwährend neue und frische Elemente erst von Anfang an gespannt und dadurch in ihrer Erregbarkeit (bei zu gleicher Zeit bestehender Erregung) derart erhöht, dass sie sich ebenfalls zusammenziehen.

So versteht man, warum die Muskeln sich an die ihnen gestellten Aufgaben anpassen, warum bei ihnen ebenso wenig wie sonstwo in der Natur mit Kanonen nach Sperlingen geschossen wird. Man begreift ohne Weiteres, dass gewisse (namentlich langsam arbeitende) Muskeln bei zweckmässiger Versuchsanordnung eine um so grössere Arbeit leisten, je stärker sie gespannt werden, z. B. ein grösseres Gewicht höher heben als ein kleines (Fick[1]), Heidenhain[2])), ferner, dass, wie die bekannten Untersuchungen von Heidenhain[2]) lehren, mit der Spannung des Muskels die Zersetzungen in ihm, die ihren Ausdruck finden in der gebildeten Wärme und in den chemischen Umsatzprodukten, unabhängig von der Thätigkeit der motorischen Nerven zunehmen müssen, denn die Zahl der arbeitenden Elemente wird eben mit zunehmender Spannung ebenfalls grösser.

Die Muskelmaschine ist also stets so eingestellt, dass bei dem Befehl zur Action gewisse Elemente sofort ihre Arbeit beginnen und wenn keine weiteren Anforderungen an den Muskel gestellt

1) Fick, Irritable Substanzen S. 52 u. ff.

2) Heidenhain, Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung u. s. w. Leipzig 1884, S. 114.

werden, auch allein durchführen. Es sind wohl in der Regel die von Haus aus stärker gespannten (in dem Schema *A*, *B*, *C*, *D*, die mittleren *mm*,), die der Mehrzahl nach höchst wahrscheinlich flinke Fasern sein dürften. Wächst die Spannung des Muskels und besteht — wie man als selbstverständlich annehmen muss — der Reiz fort, so rücken immer neue Truppen ins Gefecht und zwar, wie wir gleich hinzufügen müssen, immer massigere, weniger bewegliche, nämlich die trägeren, seitlichen Elemente (*A*,*C*,, *B*,*D*,).

Da nun diese wesentlich von langsameren Reizen getroffen werden, so ist es wiederum leicht verständlich, dass gerade stark gespannte (an und für sich ausreichend träge) Muskeln wesentlich durch langsame Reize kräftig erregt werden (siehe S. 373).

Auch die von Grützner gefundene Thatsache, dass ein Muskel, der an seiner Verkürzung verhindert wird, bei Reizung eine um so bedeutendere und längere Zeit dauernde Spannung erreicht (nach der Ausdrucksweise von Fick eine um so höhere und längere isometrische Curve zeichnet), je stärker (natürlich bis zu gewissen Grenzen) er schon von Haus aus gespannt ist, wird ohne Weiteres verständlich.

Diejenigen Muskelantheile, die sich in hervorragender Weise der Spannung anpassen und deren Thätigkeit mit dieser zunimmt, sind, wie schon erwähnt und übrigens in der Natur der Sache liegt, wesentlich die langsamen Elemente, wie sie sich z. B. in grosser Menge in den Krötenmuskeln vorfinden. Die schnellen Elemente dagegen, die wesentlich den Froschmuskel zusammensetzen, reagiren sicherlich wenig, manche vielleicht gar nicht auf Spannung. Für die Grösse ihrer Arbeit ist wohl wesentlich die Grösse und Art des Innervationsreizes von Bedeutung, wie ja auch aus den Untersuchungen von Feuerstein[1]) hervorgeht. Denn reizt man einen stark oder schwach gespannten schnellen Muskel mit ausreichend kräftigen Reizen, so erreicht er nahezu immer dieselbe bedeutende (nahezu maximale) Spannung. Reizt man aber einen stark oder schwach gespannten langsamen Muskel in gleicher Weise, so erreicht er in Folge des Reizes eine um so bedeutendere Spannung, je stärker er schon von Haus aus gespannt war. —

Dreser macht auch noch ganz mit Recht darauf aufmerk-

1) Pflüger's Archiv Bd. 43. S. 347.

sam, dass ein aus verschieden stark gespannten Elementen zusammengesetzter Muskel auch im Ruhezustand eine ungemein zweckmässige und vortheilhafte Zusammensetzung schon um desswillen aufweist, weil er gegenüber kleineren passiven Excursionen einen weit geringeren Widerstand bietet, als wenn alle Fasern gleich lang und gleich gespannt sind. Erst bei stärkeren passiven Längenveränderungen bewirkt der in Action tretende grössere Querschnitt des gedehnten ruhenden Muskels eine prompte Dämpfung der sonst leichter eintretenden schädlichen Zerrung der Gewebe, während eine ebenso starke Dämpfung der kleineren Excursionen deren Leichtigkeit und deren Spielraum unnöthig behindern würde.

Chemische Reizung des Nerven.

Hieran anschliessend möchte ich noch des Versuches Erwähnung thun, die durch chemische Reizung des Nerven erzeugten Muskelzuckungen graphisch aufzuzeichnen und unter einander zu vergleichen. Zu diesem Zwecke war es nöthig, auf einer möglichst langen Bahn sämmtliche Zuckungskurven schreiben zu lassen; ich spannte daher ein etwa 6 m langes Stück Papier zwischen der Trommel des Myographions und einer andern um eine parallele Axe drehbaren, ähnlich wie bei den Apparaten von Hering und Hürthle, auf und liess es so mit möglichst grosser Geschwindigkeit am Schreibhebel vorbeigehen.

Das Nervenmuskelpräparat befand sich im Myographion; sein Nerv wurde mit zehnprocentiger Kochsalzlösung gereizt, indem ich ihn in ein mit dieser Flüssigkeit getränktes Wattebäuschchen einlegte. Als nach einiger Zeit der Muskel zu zucken begann, setzte ich das Werk in Gang.

Die Kurven, welche sich zuerst zeigten, hatten einen langsamen Anstieg; später, nachdem inzwischen eine Ruhepause eingetreten, erschienen schnell ansteigende Zuckungen, bis zuletzt Superposition und Tetanus sich einstellten.



Fig. 22a. Wadenmuskel des Frosches, chemische Reizung, anfangs.



Fig. 22b. Wadenmuskel des Frosches, chemische Reizung, später.

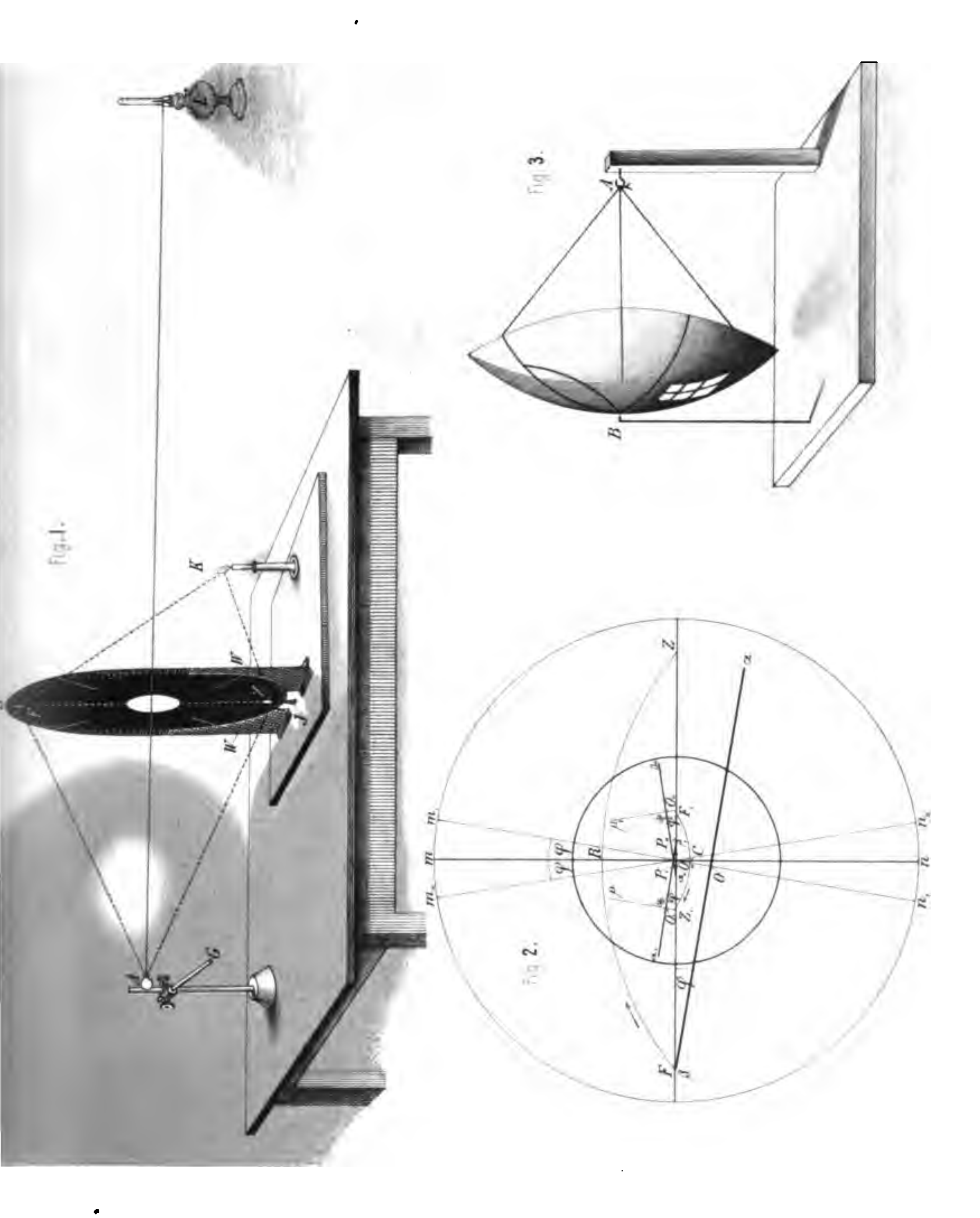
Es ist die Dauer des Anstiegs der Kurve (Fig. 22a) = 0,08 sec.
" " " " " " " " (Fig. 22b) = 0,07 sec.
" " " Höhe der Zuckung (Fig. 22a) ≐ 0,5 cm.
" " " " " " (Fig. 22b) = 0,9 cm.

Diese Erscheinung erklärte ich mir durch die Annahme, dass in Folge dieser besonderen Reizungsart anfangs mehr die langsamen, später die schnellen Fasern zur Aktion kommen. Im Uebrigen habe ich nach dieser Richtung nur einige Versuche aber immer mit demselben Resultat gemacht. Es ist sehr wohl möglich, dass andere chemische Reizmittel oder dieselben in andern Concentrationen durchaus andere Ergebnisse liefern[1]).

Fasse ich hiernach die Ergebnisse meiner Untersuchungen kurz zusammen, so zeigt sich, dass das bekannte von Du Bois-Reymond formulirte Gesetz: dass nicht die absolute Dichte eines Stromes, sondern die möglichst schnelle und möglichst bedeutende Veränderung derselben erregend wirkt, nur Geltung hat für diejenigen locomotorischen Apparate, an denen der genannte Forscher experimentirt hat, nämlich für die Muskeln und Nerven des flinken Frosches. Das Gesetz gilt aber schon nicht mehr für die entsprechenden Organe der langsamen Kröte und natürlich noch viel weniger, wie schon früher bekannt, für noch langsamere locomotorische Apparate (glatte Muskeln, Muskeln von Wirbellosen u. s. w.). Indem diese vermöge ihrer Langsamkeit eine grössere physiologische Zeit[2]) haben, sind sie von Haus aus auch wesentlich für langsam verlaufende und langsam ansteigende Reize eingestellt. Es ist, um mich hier eines von Herrn Professor Grützner herangezogenen Gleichnisses zu bedienen, wie mit der Bewegung grosser träger Massen durch andere bewegte Massen. Schiessen wir z. B. mit einer Flintenkugel gegen eine grosse, sich aber sonst leicht in ihren Angeln drehende schwere Thüre von

1) Vergleiche Grützner, Pflüger's Archiv Bd. 17, S. 270.

2) Siehe Engelmann, l. c. Pflüger's Archiv Bd. 3 S. 300 und ff.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. Emil Strauss, Bonn



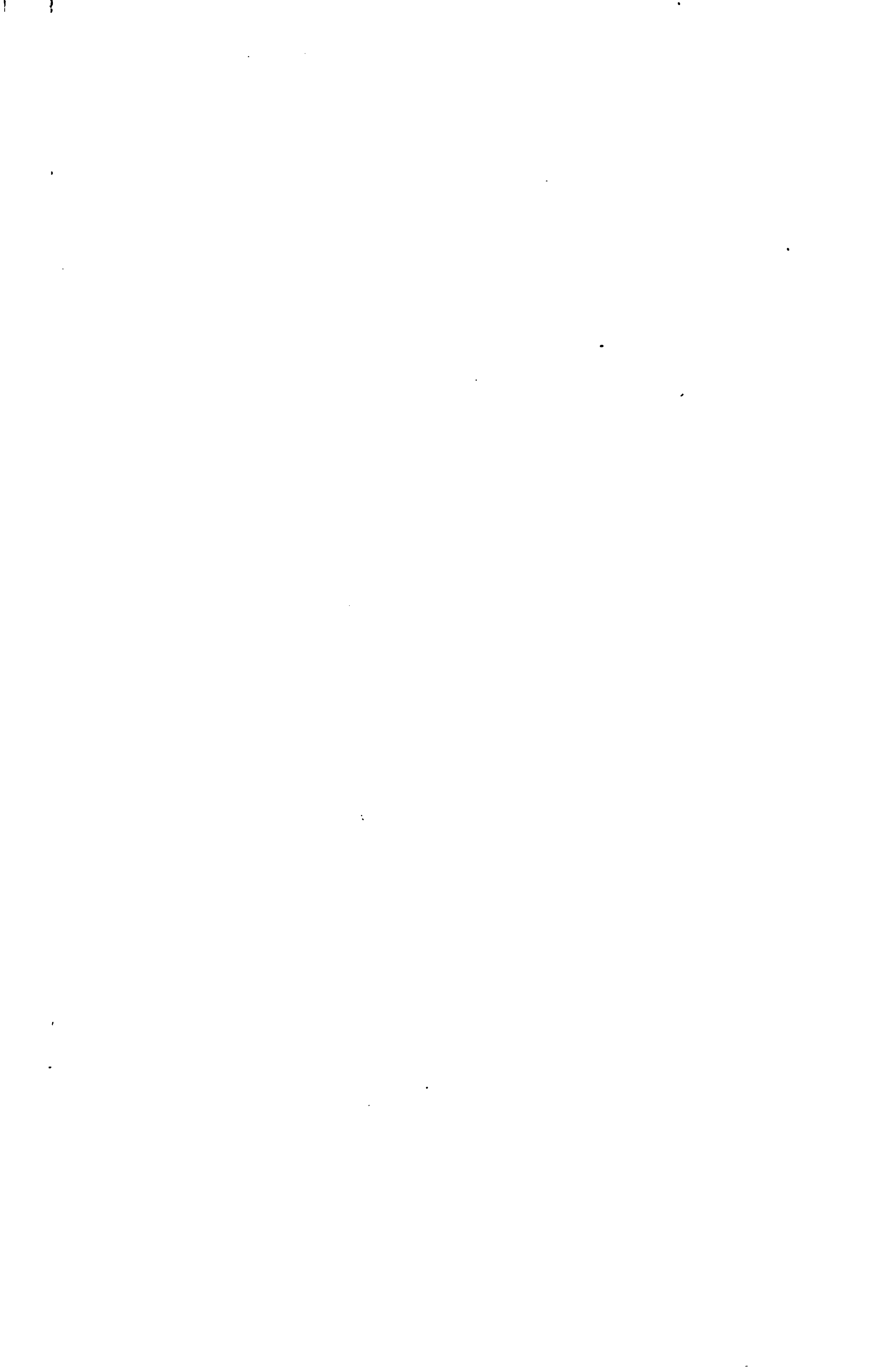
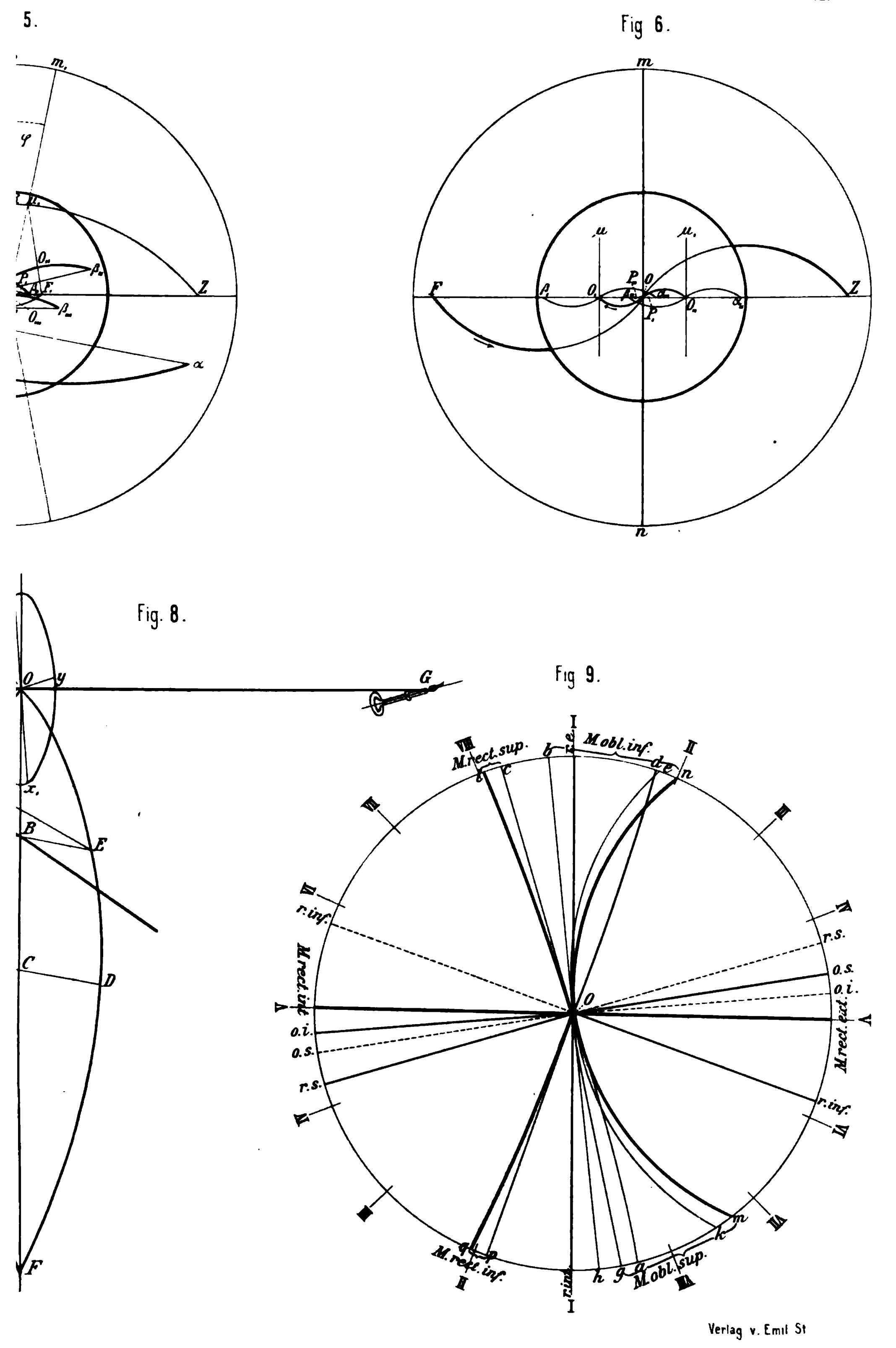


Fig. 4.

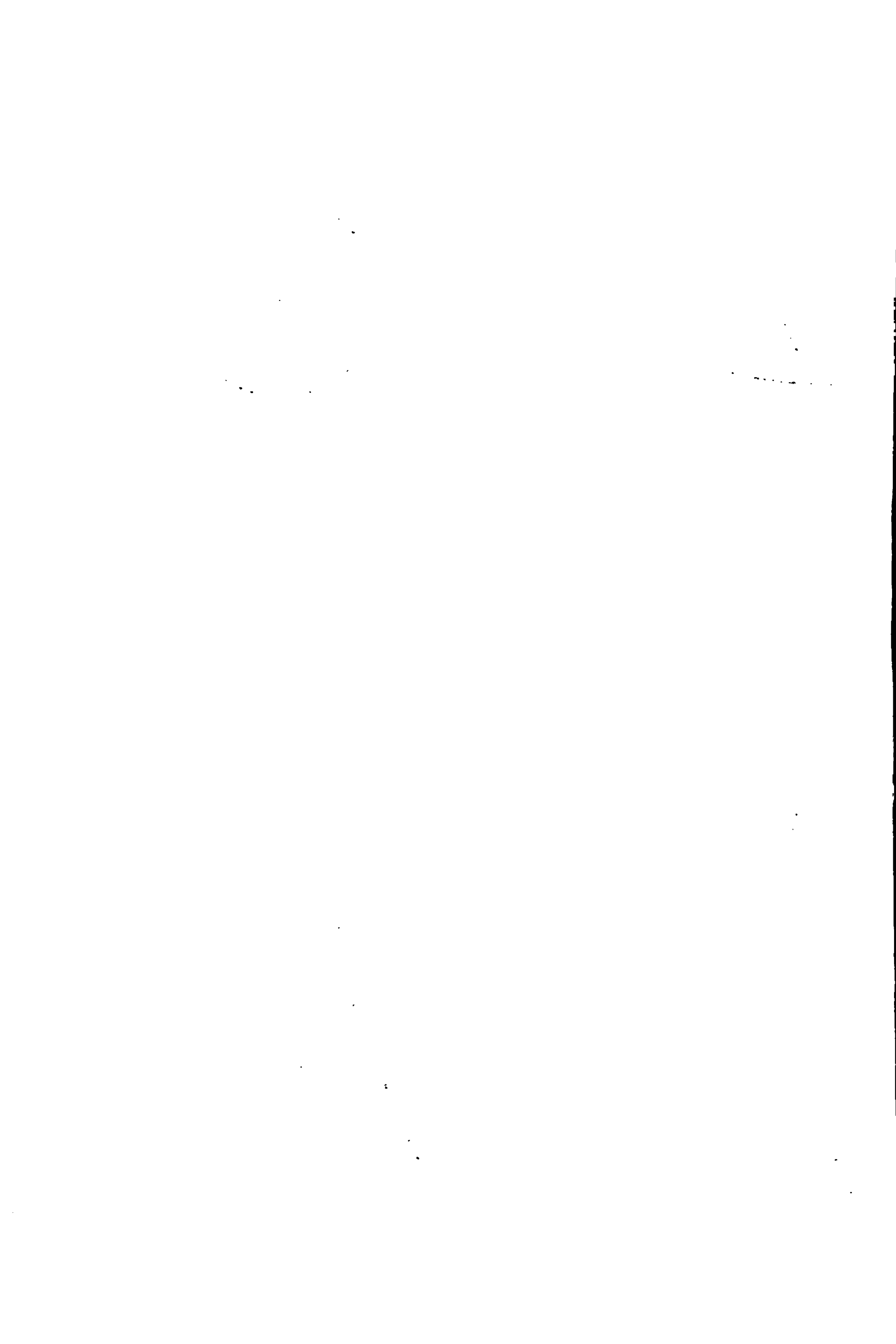
Fig 7 A.

Fig. 7 B.

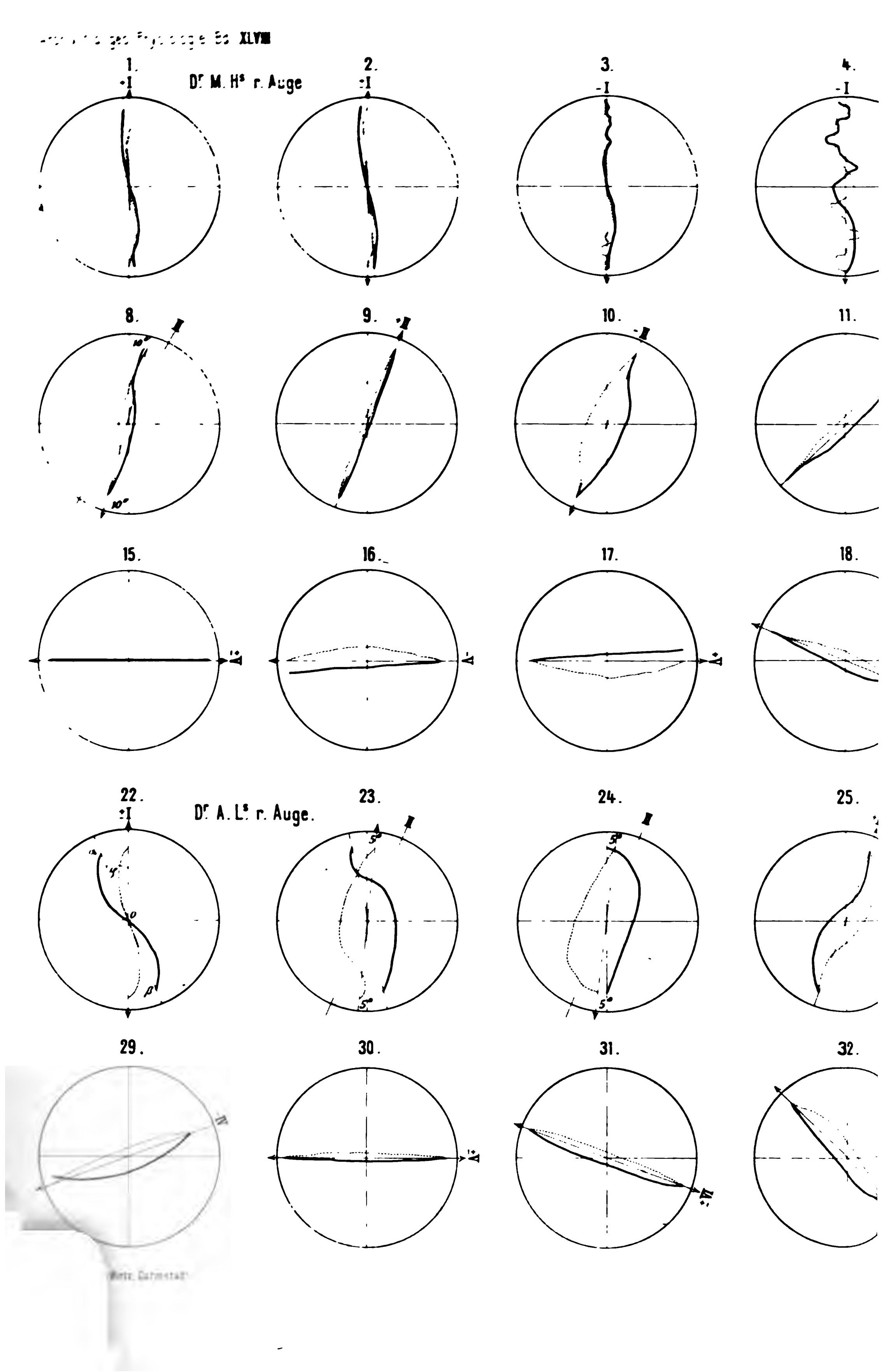
v. F. Wirtz, Darmstadt.



Verlag v. Emil St







1.
2.
3.
4.
Dr. M. Hs r. Auge
8.
9.
10.
11.
15.
16.
17.
18.
22.
Dr. A. Ls r. Auge.
23.
24.
25.
29.
30.
31.
32.

Taf. IX

5.

6.

7.

12.

13.

14.

19.

20.

21.

26.

27.

28.

33.

34.

35.

Verlag v. Emil Strauss, Bonn



Holz, so durchschlägt die Flintenkugel die Thüre, ohne sie irgendwie in ihren Angeln zu drehen. Lassen wir aber ganz dieselbe Energiemenge, welche in der bewegten Flintenkugel enthalten ist, in der Weise auf die Thüre wirken, dass wir die Masse der Kugel bedeutend vergrössern, ihre Geschwindigkeit aber bedeutend verkleinern, so würde eine derartig bewegte Kugel die Thür mit Leichtigkeit in ihren Angeln drehen. So schädigt auch ein jäh ansteigender Induktionsschlag träge (namentlich glatte) Muskeln viel eher, als er sie zur Contraction bringt, während dieselbe Elektricitätsmenge auf längere Zeit vertheilt, ihn vielleicht zu kräftiger Zusammenziehung veranlasst, ohne ihn zu schädigen. Für langsam sich abspielende Vorgänge sind eben naturgemäss langsam verlaufende Reize die adäquaten.

Die Bulbuswege und die Augenmuskeln.

Von

Dr. **Max Herz,**
Aspiranten im k. k. allgem. Krankenhause in Wien.

Hierzu Tafel VII, VIII und IX.

Die Augenbewegungen gehören zu jenen wenigen Bewegungen, die immer denselben Widerstand finden, weil sie Selbstzweck sind im Gegensatze zu denjenigen, welchen ausser der Trägheit der Organmassen noch andere Hindernisse entgegenstehen, so dass man versucht wäre einen wesentlichen und ausserwesentlichen Widerstand zu unterscheiden, fast wie in der Elektrizitätslehre. Die Massen, die die Augenmuskeln zu bewegen haben, mithin das Trägheitsmoment, das sie erzeugen, ist im Vergleiche zu ihrer eigenen Kraft und Masse grösser als irgend anderswo und zugleich constant, wie bereits gesagt. Darum erfreuen sich die Augenbewegungen einer Regelmässigkeit, dass es möglich war, sie in mathematische Form zu bringen.

Die Ruhelage des Auges ist ein Produkt seiner sämmtlichen Muskeln. Jeder einzelne participirt daran mit seinem Tonus, und der Accord der Innervationsgefühle aller ist die Grundlage jeder Orientirung im Raume. Unbewusst wie überall geschieht die Coordination, e i n Centrum ist erregt, wenn das Auge ruhig blickt und vertheilt die Aufgaben an die einzelnen Muskeln und es ist immer das gleiche Centrum bei gleichem Blicke und immer dieselbe Augenlage, dasselbe Raumbewusstsein das Resultat seiner Erregung. Jeder Augenlage muss daher ein Rindenfleck entsprechen, mag er sich auch zum Theile mit seinen Nachbarn und Funktionsverwandten decken.

Sowie ein neues Feld im Gebiete der motorischen Augenrinde erregt wird, kommt Bewegung in die ruhenden Muskeln. Alle zugleich wirken im Augenblick und schleudern den Bulbus einer neuen Ruhelage zu, zugleich ihrer eigenen Ruhelage, wo alle ihre Zugkräfte sich zu fixirender Spannung aufheben. Mancher vielleicht hat seine Länge nicht geändert, weil seine Antagonisten gleich ihm angezogen oder nachgelassen haben.

Selten, sehr viel seltener als überall, geht diese Innervation aus einem bewussten Willensakte hervor. Hier dominirt der Reflex wie nirgends. Von jedem Punkte der Körperoberfläche kann er ausgelöst werden, doch geschieht es meist von dem Organe aus, dem er in letzter Linie dient — der Retina. Die peripheren Partien der Retina sind es, die lebhaft erregt, den Reiz an das Centrum weiter geben, wo er eine centrifugale Nervenaktion auszulösen bestimmt ist, in Apparaten, die man sich nicht anders als jeweilig fix mit den ihnen eigenthümlich zugehörigen Netzhautflecken verbunden denken kann, so dass jedem sensiblen Sehcentrum ein motorisches entspricht, mit welchem es durch nervöse Zwischenbahnen in Rapport steht. Es ist also in der Regel eine bestimmte Augenbewegung die Antwort auf die Reizung einer bestimmten peripheren Netzhautpartie, wobei wir keine Rücksicht nehmen auf die etwa zugleich ausgelöste Kopf- oder Rumpfbewegung. Die Augenbewegungen als Reflexakte werden beeinflusst, wodurch alle Reflexe beeinflusst werden. A l k o h o l z. B. lähmt sie.

Das L i s t i n g'sche Gesetz besagt, dass, wenn die Blicklinie aus ihrer Primärstellung in irgend eine andere Stellung übergeführt wurde, die Lage des Augapfels nun eine solche sei, als wäre er um eine Axe gedreht worden, die auf beiden Blicklinien senk-

recht steht. Dasselbe giebt uns also die Mittel an die Hand, aus einer beliebigen Anfangslage die Endlage berechnen zu können, welche das Auge einnimmt, nachdem es sich nach einem Punkte hin bewegt hat. Ueber die Bahnen, welche die einzelnen Punkte der Bulbusoberfläche bei den Bewegungen des Auges durchlaufen, über die Art dieser Bewegungen — über die Bulbuswege — sagt es uns nichts.

Wundt[1]) versuchte diesem Problem dadurch beizukommen, dass er über ein mit Ziffern besäetes Blatt zwischen 2 Punkten hin und her blickte und auf dem Wege eine der Ziffern, über welche sein Blick hinglitt, zu erhaschen trachtete. Auf diese Weise konnte er constatiren, dass der Weg der Blicklinie kein geradliniger sei.

Lamansky (1869) fand gelegentlich seiner Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Augenbewegungen, dass die Punktreihe, als welche ein intermittirendes Licht dem bewegten Auge erscheint, nicht geradlinig sei, sondern „kleine Bögen" bilde, und stellt eine Regel auf, die sich im folgenden als unrichtig erweisen wird, nämlich diese: Die Linien sind concav nach innen bei allen schrägen Bewegungen nach innen und concav nach aussen bei allen schrägen Bewegungen nach aussen. Von anderer Seite ist, so viel ich weiss, über diesen Gegenstand nichts bekannt geworden.

Ich benutzte zur Eruirung der Bulbuswege das durch Augenbewegung streifenförmig ausgezogene Nachbild einer annähernd punktförmigen Lichtquelle.

Es ist bekannt, dass eine glühende Kohle, im Kreise herumgeschwungen, wegen der Persistenz der Lichteindrücke dem Auge wie ein bewegter Streif oder als ein leuchtender Kreis erscheint, wenn sie die nöthige Geschwindigkeit erlangt hat. Diese Geschwindigkeit ist individuell verschieden, was offenbar darin seinen Grund hat, dass eine sehr kurz dauernde Netzhauterregung nicht überall gleich rasch verschwindet. Der Kreis schliesst sich in dem Momente, wo eine Umdrehung der Kohle genau so lange dauert als die Erregung der Retina.

Es ist nun für die Netzhaut von ganz gleichem Werthe, ob das Bild des leuchtenden Punktes deshalb über sie hinweghuscht,

1) W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmungen. Leipzig 1862.

weil das Objekt, oder deshalb, weil der Bulbus bei ruhendem Objekte sich bewegt. In beiden Fällen erscheint bei genügender Geschwindigkeit der Bildbewegung auf der Retina für das Bewusstsein eine Linie. In dem einen Falle entspricht die Linie der Curve, welche das Objekt beschreibt, im anderen giebt sie einen Anhaltspunkt, die Art der Bulbusbewegung zu bestimmen, insoferne als sie ja jene Linie ist, welche ein im Raume annähernd fixer Punkt — das reelle Bild der Lichtquelle — auf die Oberfläche eines unter ihm hinwegbewegten Sphäroides zeichnet.

Wenn ich ausser der Sehweite meines myopischen Auges ein Licht aufstelle und bewege den Bulbus in irgend einer Richtung, so erscheint mir das Licht als ein heller bewegter Streifen. Nachdem dieser verschwunden, bleibt das Gesichtsfeld einen Augenblick lang unverändert. Da bewegt sich mit einem Male in derselben Bahn, wie vorhin das Licht, ein Nachbild desselben, das in einen kurzen Streifen ausgezogen ist. Hierauf ist dauernd Ruhe.

Nicht jedem ist es leicht, diese ganze Erscheinung zu produciren und vielen sehr intelligenten Fachgenossen, die ich es versuchen liess, war es absolut unmöglich, vielleicht, weil sie die geforderte Trägheit der Retina nicht besassen. Von seltener Klarheit sind die diesbezüglichen Wahrnehmungen meines Freundes Med. Dr. Alois Lustig, auf dessen Zeichnungen sich diese Arbeit zum grossen Theile stützt.

Das Nachbild, das man auf die oben beschriebene Art erhält, erscheint bewegt. Man hat das lebhafte Gefühl, dass die eben mit grosser Deutlichkeit gesehene Curve sich allmählich entwickelt habe, dass sie durch die Bewegung von irgend einem Leuchtenden entstanden sei, und dennoch ist es schwer, mit sich einig zu werden, nach welcher Richtung die Bewegung stattgefunden. Die Gestalt der Bahn ist völlig klar und dennoch zögert die Hand, selbst des geübten Zeichners, wenn er sie darstellen soll. Man fühlt einen Zwiespalt in seinen Empfindungen, der sich erst löst, wenn man mit den Erscheinungen vertraut geworden, einen Zwiespalt, der für unsere Auffassung von Bewegung und Ausdehnung charakteristisch ist.

Nehmen wir ein Beispiel. Das Auge blicke von oben längs einer Geraden senkrecht nach unten, und vor ihm befinde sich ein Licht. In dem Momente, wo das Auge über das Licht blickt, befindet sich das Netzhautbild desselben, das man sich vorläufig im Raume stillstehend denken kann, auf der oberen Hälfte der

Retina und wandert, während die Blicklinie sich nach abwärts bewegt, ebenfalls in die untere Netzhauthälfte. In das Bewusstsein gelangt also erstens ein Muskelgefühl, welches dem Abblicken einer senkrechten Geraden von oben nach unten entspricht, und zweitens eine Netzhauterregung, welche etwa durch eine vom Boden aufschiessende Rakete hervorgebracht worden sein konnte.

Der Zeichner nun, der gewöhnt ist, in der Reihenfolge darzustellen, wie sein Auge empfangen hat, ist trotz der Lebhaftigkeit seines Sinneseindruckes unschlüssig, ob er zeichnen soll, wie sein Auge geblickt, nämlich von oben nach unten, oder wie sich das Bild scheinbar entwickelt hat, nämlich von unten nach oben. Die beiden Vorstellungen, gleich mächtig und die Hand regierend, streiten mit einander, und es bedarf der gewaltsamen Unterdrückung der einen, um überhaupt das Gesehene zu Papier bringen zu können. Mit welcher von beiden dies geschieht, ist, wie ich mich überzeugt habe, individuell verschieden.

Zu meinen Untersuchungen diente mir ein einfacher Apparat (Taf. VII, Fig. 1). In einer Entfernung von 70 cm von dem beobachtenden Auge *A* stellte ich eine kreisförmige Pappdeckelscheibe *S* auf. Ihr Radius betrug 23 cm. Aus ihrer Mitte hatte ich einen Kreis von 9 cm Radius herausgeschnitten, so dass das Auge durch die so entstandene Oeffnung auf ein in einer Entfernung von 7 m in der Höhe des Kreismittelpunktes befindliches Licht *L* blicken konnte. Die Scheibe war um eine durch ihren Mittelpunkt gehende sagittale Axe drehbar, denn sie ruhte zwischen zweien aus starkem Pappdeckel gefertigten, auf das Grundbrett genagelten Winkeln *W*. Um die Lage der Scheibe bestimmen zu können, trug ihre Peripherie eine Kreistheilung, die an einem in dem Brette steckenden Nagel, dem Index *I*, abzulesen war. Als Blickmarken verwendete ich einen mit rothem Seidenpapier hinterklebten, schlitzförmigen Ausschnitt der Pappdeckelscheibe *F*, von 7 cm Länge und 0,5 cm Breite, der mit seiner Längsaxe in die Verbindungslinie von 0^0 und 180^0 der Kreistheilung fiel, und einen mit blauem Seidenpapier hinterklebten kreisförmigen Ausschnitt *Z* von 1,5 cm Radius dem Schlitze gegenüber bei 180^0 angebracht. Eine Kerze *K*, welche hinter dem Schirme stand, liess Schlitz und Kreis in der dunklen Scheibe sehr lebhaft transparent roth und blau erscheinen.

Als Fixirungsmittel für den Kopf benutzte ich einen in einer Messingklemme durch eine Schraube befestigten Glasstab *G* von

15 mm Durchmesser, der an einem Stativ in der Senkrechten verschiebbar war. Derselbe konnte in den Mund genommen oder auch nur Nase oder Kinn darauf gestützt werden.

Vor jedem Versuche wurde das betreffende Auge so vor den Schirm gebracht, dass ihm das Licht L in der Mitte der Scheibe erschien, hierauf der Kopf möglichst senkrecht und sagittal gestellt und der Glasstab an Mund, Nase oder Kinn geschoben. Das andere Auge wurde verdeckt, ohne es jedoch zu drücken, um seine freie Beweglichkeit aus begreiflichen Gründen nicht zu hindern. Ob sich das Untersuchungsauge so wirklich in Primärlage befand, konnte dadurch controllirt werden, dass man zuerst den rothleuchtenden Schlitz fixirte und dann auf die gegenüberliegende blau durchscheinende kleine Kreisscheibe sah. Das lineare Nachbild des Schlitzes musste, wenn ursprünglich Primärlage vorhanden war, seiner ganzen Länge nach in den Kreidestrich fallen, der beide Marken mit einander verband. Als Ausgangspunkt der Blickbewegung, als Marke I oder Fixationspunkt, benützte ich immer den Mittelpunkt des rothen Schlitzes, weil das Nachbild desselben in obiger Weise nützlich sein konnte, als Marke II oder Zielpunkt das blaue Scheibchen, weil es im indirekten Sehen befindlich wegen seiner Punktähnlichkeit eher geeignet war, durch Erregung einer bestimmten peripheren Netzhautstelle eine zielbewusstere Augenbewegung auszulösen.

Welchen Winkel die Verbindungslinie der beiden Marken mit dem Horizonte bildete, bestimmte ich anfangs nach Graden. Später fand ich es zweckmässig, 8 Meridianebenen zu unterscheiden. Mit I bezeichne ich die Sagittalebene, den Horizont mit V. Die Ziffern aller Ebenen, welche auf dem Blickfelde senkrecht stehend gedacht sind und um je 22,5° von einander entfernt sind, steigen in derselben Reihenfolge und Richtung wie die Ziffern auf dem Blatte einer Uhr. (Taf. VIII, Fig. 9.)

Die Versuche wurden nun so angestellt, dass der Beobachter die eine Marke fixirte u. z. den Schlitz, zugleich aber im indirekten Sehen die blaue Scheibe behielt, gewissermassen auf sie zielte, um meist auf ein gegebenes Commando mehr oder weniger rasch auf die letztere hinzublicken. Während sein Auge in der 2. Position ruhig stillstand, suchte er sich die empfangene Nachbildcurve wohl einzuprägen und zeichnete ihre Gestalt in einen Kreis (s. d. Taf. IX), der durch 2 Ordinaten in 4 Felder getheilt war und ausserdem

eine Gerade enthielt, welche das Bild der Verbindungslinie der beiden Marken darstellte, also die intendirte Blickbewegungsrichtung, insoferne als er ja in dieser Richtung blicken wollte und zu blicken glaubte.

Die Linien, die man auf solche Weise erhält, kann man trotz ihrer grossen Mannigfaltigkeit auf folgende 3 Grundformen zurückführen:

1. Die Gerade. Dieselbe kann durch den Mittelpunkt gehen oder nicht.
2. Einen mehr oder weniger flachen Bogen, in dessen Concavität der Mittelpunkt des Kreises liegt, und
3. Die *S*-Figur.

Wir unterscheiden prinzipiell die Gerade, welche durch den Mittelpunkt geht, und diejenige, die es nicht thut.

Eine Gerade, welche durch den Mittelpunkt des Kreises geht, ist unter allen Umständen ein Beweis, dass das Auge sich um eine in der primären Axenebene[1]) gelegene Axe gedreht hat. Diese Axe steht senkrecht auf der (Blickbewegungs-) Richtungslinie.

Der Blickmeridian hat sich bei dieser Bewegung nicht gedreht. Beweis: Da die Gerade durch den Mittelpunkt geht, fällt sie wie jeder Radius des kreisförmigen Gesichtsfeldes mit der Projektion eines Meridians der Primärlage zusammen und der erregte Netzhautstreifen, dessen funktionellen Nachschwingungen wir das Bild verdanken, liegt in diesem Meridian. Hätte ein bewegtes Lichtbild im Augenhintergrunde längs dieses Streifens fahren sollen, so hätte es sich an der Peripherie eines Kreises bewegen müssen, dessen Mittelpunkt, mit dem Augenmittelpunkte, dessen Ebene mit der Ebene des Blickmeridians zusammenfällt. Wir aber haben den entgegengesetzten Fall vor uns. Das Lichtbild steht im Raume fest und die Netzhaut wird unter ihm hinweggezogen. Die Bewegung dieser muss also die umgekehrte sein als die für das Licht supponirte, aber die Ebene der Bewegung muss dieselbe sein, d. h. sämmtliche Punkte der Bulbusoberfläche beschreiben unter einander und mit dem Blickmeridian parallele Kreise, deren Mittelpunkte

1) Unter der primären Axenebene verstehen die Autoren eine im Drehpunkte senkrecht auf die primäre Blicklinie (Blicklinie der Primärlage) errichtete Ebene.

die Drehungsaxe geben, welche also senkrecht auf dem Meridian steht. Eine im Drehungspunkte auf irgend einem Meridian senkrechte Gerade liegt aber in der primären Axenebene, denn diese ist im Grunde nur eine Summe von solchen Senkrechten.

Der Umstand, dass eine Blickcurve durch den Mittelpunkt geht, zeigt, dass das Licht einmal im Centrum retinae abgebildet wurde, dass sich also das Auge einen Moment in Primärlage befand, denn nach dem Donders'schen Gesetze entspricht ceteris paribus derselben Blickrichtung dieselbe Augenlage, in unserem Falle also den Versuchsprämissen zu Folge dem Blicke in das Centrum der Scheibe immer der Primarlage, es müsste denn dieses Gesetz für den bewegten Bulbus nicht ebenso giltig wie für den ruhenden sein.

Die Gerade, welche nicht durch das Centrum geht, also mit der Richtungslinie einen Winkel bildet, die excentrische Gerade (Taf. VII, Fig. 2), erscheint im ersten Momente ein Paradoxon, denn es fällt schwer zu glauben, dass eine Gerade, gedacht als die Bahn eines bewegten Punktes, nicht die Verbindung seiner Anfangs- und Endlage sein sollte, zwischen welchen doch scheinbar die Richtungslinie ausgespannt ist.

Einen Punkt muss die Nachbildcurve mit der Richtungslinie immer gemein haben. Es ist dies der jüngste Punkt der Bewegungslinie, der Endpunkt der scheinbaren Bewegung. Er wird vorgestellt, wo das Objekt thatsächlich ist, wenn das Auge seine Bewegung vollendet hat und in der Fixation des Zielpunktes ruht. Er ist der einzige Theil der Curve, der einem reellen Netzhautbilde und keinem Nachbilde entspricht. Sein Verhältniss zum Raume ist also die Grundlage für die Orientirung der übrigen Theile des Nachbildes.

Wie aber ist es möglich, dass wir den ältesten, den Anfangspunkt, bei mancher Curve nicht in die Richtungslinie verlegen? Zur Zeit seiner Entstehung, da das Auge die Marke I fixirte, sahen wir ihn gewiss dort. Unsere Erinnerung wurde also getrübt.

Bevor wir darauf eingehen, welcher wirklichen Bulbusbewegung diese Art von Linien entspricht, ist es nothwendig, zu erörtern, was eigentlich die Empfindung einer geraden Linie bedeute, da es ja doch auf der kugeligen Retinafläche keine geradlinigen Figuren geben kann. Es ist mehr als wahrscheinlich, dass wir einen Bogen auf der Retina dann als eine Gerade empfinden, wenn

derselbe dem Bilde einer möglichen Geraden im Raume entspricht. Von den einzelnen Punkten dieser Geraden Strahlen durch den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen im Auge gezogen, müssen zu correspondirenden Punkten des Bogens führen, und eine Ebene bilden, in welcher sowohl die Gerade als der Bogen als der Kreuzungspunkt liegen. Hieraus folgt der Satz, dass dann ein erregter Netzhautstreifen die Empfindung einer Geraden hervorruft, wenn sich durch diesen Streifen und den Kreuzungspunkt der Sehstrahlen eine Ebene legen lässt. Ist diese Ebene ein Meridian, dann ist der Netzhautbogen ein Kreisbogen, dessen Mittelpunkt der Augenmittelpunkt ist, und das Sensorium lässt seine subjektive Linie durch den Mittelpunkt des Sehfeldes laufen, weil nothwendigerweise die fovea centralis als der Kreuzungspunkt der Meridiane mit erregt worden ist. Ist die Ebene kein Meridian, dann ist der Bogen ein Kreisbogen, dessen Mittelpunkt nicht mehr aus dem Bulbusmittelpunkte zusammenfällt, also kein grösster Kreis der schematischen Bulbuskugel mehr. Eine Senkrechte vom Bulbusmittelpunkte auf die Ebene des Kreises gefällt, trifft den Mittelpunkt desselben und ist die Axe, um welche der Augapfel rotirt haben konnte, damit das im Raume feststehende Lichtbild den bewussten Bogen auf die Netzhaut zeichne. Dass er dies nicht that, werden wir im Folgenden zeigen.

Vorerst: Welche Lage hat der Kreis? — Die Netzhaut durch ein über sie hinweghuschendes Lichtbild für einen Moment linear in Erregung versetzt ist für uns in gewissem Sinne selbstleuchtend. Mit einem Schlage erlischt ihr virtuelles Licht und in unserer Erinnerung persistirt dasselbe, wie es im letzten Momente war, also dann, wo das Auge auf den Zielpunkt blickte. Von der Art, wie die Linie entstanden, von den etwaigen Drehungen, die sie als Ganzes ausgeführt, haben wir keine Ahnung. Es ist gerade so, als ob ein glühender Draht wogte und sich drehte und plötzlich erlösche. In der Erinnerung bliebe sein Bild in der Gestalt des letzten Augenblickes unabhängig von seinen Formen in den früheren Phasen der Bewegung. Wie ein laufendes Thier seine Beine bewegt, hat uns erst die Momentphotographie aufgedeckt, indem sie alle jene Zwischenphasen fixirte, welche unseren Sinnen bis dahin entgangen waren. Auch die Curven, die die Bahnen des Lichtes auf der Netzhaut darstellen, sehen wir in der Lage und Gestalt des letzten Augenblickes der Bewegung und projiciren

nach aussen auf das Papier, wie eine Laterna magica die Momentphotographie der eben stillgestandenen Netzhaut projiciren würde.

In Taf. VII, Fig. 2 sind die Verhältnisse schematisch dargestellt. Der grosse Kreis bedeutet das Blickfeld (die Scheibe), F den Fixationspunkt, Z das Ziel. $\alpha\beta$ ist die gezeichnete Curve. In $O_{,,,,}$ dem Mittelpunkte des Augenhintergrundes, der durch den kleineren Kreis versinnlicht ist, bildet sich das Licht ab, wenn Primärlage eingehalten wird. Um die Lage des Netzhautbildes entsprechend der Linie $\alpha\beta$ zu erhalten, müssen wir uns vergegenwärtigen, dass $\alpha\beta$ die Projektion des erregten Netzhautstreifens von der Zielpunktslage der Retina aus bedeute. Der Punkt $\beta_{,}$ welcher dem wirklichen Bilde des Lichtes im Schlussmomente der Bewegung entstammt, ist am Augenhintergrunde durch $\beta_{,}$ repräsentirt. Dass $\beta_{,}$ nicht mit $O_{,,,}$ zusammenfällt ist eine Folge der parallaktischen Verschiebung. Der Kreuzungspunkt der Sehstrahlen, der sich in der Primärlage in $O_{,,,}$ auf das ebene Gesichtsfeld projicirt, befindet sich während der Fixationslage gegen F hin verschoben und im Schema stark übertrieben in $P_{,,}$ während der Zielpunktslage in $P_{,,}$. Dem entsprechend rückt auch $\beta_{,}$ der Zielpunktslage gemäss nach rechts hinaus. Von $\beta_{,}$ ziehen wir eine Parallele zu $\alpha\beta$, mit welcher der erregte Netzhautstreifen nothwendig zusammenfallen muss, und machen sie beliebig lang $= \alpha_{,}\beta_{,}$, da es uns auf absolute Längenmasse hier nicht ankommen kann. Im Beginne der Bewegung liegt das centrum retinae in $F_{,,}$ der Kreuzungspunkt der Netzstrahlen in $P_{,}$ und das Licht bildet sich in $\alpha_{,,}$ ab. In $\alpha_{,,}$ liegt demgemäss derjenige Punkt der Linie, der dem ersten Augenblicke seine Entstehung verdankt, der dem älteren Ende des bewegten Nachbildes entsprechende Netzhautfleck i. e. α. Der Punkt also, der schliesslich in $\alpha_{,}$ steht, muss anfangs in $\alpha_{,,}$ gewesen sein. Von $Z_{,}$ eine Senkrechte auf $\alpha_{,}\beta_{,}$ gezogen, $Z_{,}\mu$ giebt den in der Primärlage auf der Bewegungsrichtung senkrecht stehenden Meridian und ihre Neigung gegen die Richtungslinie $= 90-\varphi$ ist auch die jetzige Neigung dieses Meridians gegen dieselbe. Die Strecke $O_{,}Z_{,}$ ist die Entfernung der fovea centralis vom erregten Netzhautstreifen, welche Entfernung natürlich in allen Lagen gleich sein muss. Ich trage dieselbe von $F_{,}$ auf, ziehe dazu eine Senkrechte von $\alpha_{,,}$, mache sie ebenso lang wie $\alpha_{,}\beta_{,}$, und habe so Grösse und Lage des Streifens für den Beginn der

Bewegung. Während der Augenbewegung wandert $\beta_{,,}$ nach $\beta_{,}$, $\alpha_{,,}$ nach $\alpha_{,}$, die fovea centralis von $F_{,}$ nach $Z_{,}$, der Kreuzungspunkt der Sehstrahlen von $P_{,}$ nach $P_{,,}$.

Als der Punkt $O_{,}$ respective $O_{,,}$ durch das Lichtbild erregt wurde, befand er sich naturgemäss in $O_{,,,}$, folglich das centrum retinae in C. Die Bahn der fovea centralis von $F_{,}$ nach $Z_{,}$ ist also eine gebogene, ebenso wie die der Blicklinie von F nach Z und zwar richtet sich die Convexität der ersteren nach derselben Seite, nach der wir uns das ältere Ende der Nachbildcurve α abgewichen vorstellen, die der letzteren nach der entgegengesetzten Richtung. Im Schema ist $Z_{,}CF_{,}$ die Bahn des Centrums, FRZ diejenige der Blicklinie auf dem ebenen Gesichtsfelde. Der erstere Bogen entspricht einem grösseren Winkel als der letztere, in Folge der Verschiebung, welche der vor dem Augenmittelpunkte gelegene Kreuzungspunkt der Sehstrahlen erleidet.

Interessant ist das Verhalten des Meridians *mn*. Wenn das Auge direkt in das Licht blickt und in der Mitte der Bewegung steht er senkrecht auf FZ. In der Lage I finden wir ihn in $F_{,}\mu_{,}$ um φ gegen seine frühere Lage gedreht, nach der entgegengesetzten Richtung in $Z_{,}\mu$ bei der Lage II. Er durchläuft den Winkel 2φ, s e i n e Raddrehung.

Wäre das Auge, wie es eigentlich die typische Anordnung unseres Versuches fordert, damals als es in das Licht blickte, in Primärlage gewesen, dann wäre all' dies unmöglich. Der Meridian *mn* hätte sich nicht in dieser Weise drehen können, denn es widerspräche direkt dem vielfach bewiesenen L i s t i n g'schen Gesetze, welches fordert, dass bei einer Augenbewegung zwischen 2 Punkten, welche in demselben Meridian (dem Blickmeridian) liegen, dieser keine Drehung erleide, mithin auch der auf ihm senkrecht stehende Meridian sich nicht im Sinne einer Raddrehung verschiebe, so dass die Durchschnittslinien des letzteren auf dem ebenen Gesichtsfelde mit einander parallel bleiben müssten. Da dies, wie wir gesehen haben, bei einer Bewegung, welche ein excentrisches Nachbild zur Folge hat, nicht der Fall ist, so war bei allen jenen Versuchen, wo ein Endpunkt der Nachbildcurve von der Blickbewegungsrichtung abstand, die Primärlage falsch bestimmt worden.

Um die Vorstellung dieser und der im Nachstehenden dargelegten Verhältnisse zu erleichtern, construirte ich mir einen

kleinen Apparat (Taf. VII, Fig. 3). Eine grössere Uhrschale stellte den Augenhintergrund vor. Von 3 Löchern, die ich nahe ihrem Rande bohrte, zog ich Schnüre zu einem festen Punkte *A*, dem Drehpunkte des gedachten Auges. Eine Nadelspitze *B* versinnlichte das für das Schema im Raume ruhend angenommene Bild der Flamme. Auf die Uhrschalen zeichnete ich die Ordinaten. Wenn ihr Kreuzungspunkt vor der Nadel lag, bedeutete dies Primärlage. Ich konnte zwischen die Ordinaten eine der Nachbildcurven, natürlich umgekehrt, mit Tinte einzeichnen und die Bulbusbewegungen durch Drehungen der Schale nachahmen, die Neigungen der Meridiane beobachten u. s. w. Es gelang mir auf diese Weise häufig, Einsicht in die verwickelten Dinge zu erlangen, welche sonst leicht im Stande gewesen wären zu verwirren.

Wir kommen nun zu den einfach gebogenen Curven, in deren Concavität der Kreismittelpunkt liegt. In Taf. VIII, Fig. 4 ist $\alpha O \beta$ eine solche Linie und zwar speciell eine solche, dass der Kreismittelpunkt und die beiden Endpunkte in einer Geraden liegen, denn es muss auch hier genau darnach unterschieden werden, ob dies der Fall ist oder nicht.

Für den Blick auf den Zielpunkt ist die Lage des erregten Netzhautbogens $\alpha_{,} O_{,} \beta_{,}$, denn $\alpha_{,}$ ist das direkte Lichtbild in diesem Momente und $\beta_{,}$ muss im Blickmeridian liegen, da es in der Linie *FZ* vorgestellt wird. Der Punkt $\beta_{,}$, dessen Reizung von der Anfangslage stammt, musste sich in dem Momente, wo er sein Licht empfing, in $\beta_{,,}$ befunden haben, $\alpha_{,}$ in $\alpha_{,,}$, nämlich im Blickmeridian. Als der Punkt $O_{,}$ belichtet ward, befand er sich in $O_{,,,}$ und die ganze Cure hatte, parallel zu den früheren Lagen, die Stellung $\alpha_{,,,}$ $O_{,,,}$ $\beta_{,,,}$. —

Daraus folgt:

1. Der in der letztbeschriebenen (Mittel-) Lage, also auch in der Primärstellung auf dem Blickmeridian senkrecht stehende Meridian *mn* hat seine ursprüngliche Richtung sowohl in der Anfangslage $F_{,}\mu$, als in der Endlage $Z_{,}\mu$. Ob er während der Bewegung nicht irgendwie geschwankt, geht aus der Curve an und für sich nicht hervor.

2. Das centrum retinae beschreibt einen Bogen $Z_{,}CF_{,}$, welcher convexer ist als die Nachbildcurve, die Blicklinie einen dem Nachbild ähnlichen, mit entgegengesetzter Convexität *FRZ*.

Die Bewegung, die der Bulbus macht, kann man in 2 Bewe-

gungen zerlegen, deren Axen auf einander senkrecht stehen und in der primären Axenebene liegen. Die eine Axe, deren zugehörige Bewegung continuirlich ist, liegt in der Ebene des Meridians *mn* und befördert die Bewegung in der intendirten Bewegungsrichtung *FZ*. Ich möchte sie die Haupt- oder Intentionsaxe nennen, weil die Bewegung um sie thatsächlich intendirt wird und ausschliesslich zum Bewusstsein kommt. Sie dient vornehmlich den Zwecken des ganzen Muskelaktes, nämlich der raschen Einstellung des Auges auf den Zielpunkt.

Die andere Bewegung, welche in der Bahn der Gesichtslinie als $O_{,,,}R$, die Höhe des Wegbogens zum Ausdrucke kommt, ist periodisch und entspricht einer halben Schwingung. Sie bringt das centrum retinae aus der Blickebene, deren Durchschnitt im Gesichtsfelde *FZ* ist, heraus nach *C* und wiederum zurück in dieselbe. Die Projektion ihrer Axe, der Nebenaxe, auf das Gesichtsfeld ist *FZ*. Die beiden Axen müssen als im Raume feststehend gedacht werden.

Der mit einem Ende vom Blickmeridian abgehobene Bogen (Taf. VIII, Fig. 5) ist eine Combination des eben beschriebenen Bogens mit einer excentrischen Linie. Die Bewegung, deren Ausdruck er ist, gestaltet sich auch dem entsprechend. $\alpha\beta$ sei ein solcher Bogen mit seiner Sehne, der ihm zugehörigen excentrischen Linie. Die Fixationslage ist $\alpha_{,,}\beta_{,,}$, die Zielpunktslage $\alpha_{,}\beta_{,}$, die Mittellage $\alpha_{,,,}\beta_{,,,}$. Der Weg der fovea centralis retinae $Z_{,}cF_{,}$ ist wie bei dem Falle der Fig. 2 ein Bogen, welcher jedoch convexer d. h. nach kleinerem Radius gekrümmt ist als dort, ebenso der Weg der Blicklinie *FRZ*. Die Schwankung des auf der Bewegungsrichtung senkrecht stehenden Meridians ist hier wie dort 2φ dem doppelten Winkel, den die Sehne des Bogens mit der Bewegungsrichtung einschliesst, gleich.

Die Bogen, welche centrum retinae und die Gesichtslinie beschreiben, sind hier und bei der excentrischen Geraden denen des centrischen Bogens und der centrischen Geraden nicht gleichwerthig, denn zu der Bogenform der Wege kommt das Charakteristikon der Raddrehung als prinzipieller Unterschied hinzu. Haupt- und Nebenaxe des centrischen Bogens liegen ferner im Raume fest in der primären Axenebene, die des excentrischen Bogens drehen sich während der Augenbewegung um 2φ.

Die mehrfach gebogenen Curven, als deren Haupt-

typus wir die S-Figur aufgestellt haben, zeigen eine grosse Mannigfaltigkeit. Zwischen ihnen und den früher beschriebenen Linien gibt es Uebergangsformen, welche dadurch interessant und wichtig sind, dass sie das erste Auftreten und in späteren Stadien das stärkere Eingreifen jener Agentien zeigen, welche eben die einfachen Bahnen in die complicirten umgestalten.

Als Anschluss an das jüngere Ende sonst ganz einfach gebauter Curven findet sich bei meinem Auge häufig eine unregelmässige Zickzacklinie, die ich als ataktischen Anhang bezeichne (siehe Tafel IX, Fig. 3, 4, 12). Ich sah sie nur in Momenten der Ermüdung, bei sehr schlaffem Blicke und nach Genuss von Alkohol. Ob sie in einem Innervationsfehler der Muskulatur oder in einer geringeren Erregbarkeit der Netzhautperipherie und mithin in einem herabgesetzten Zielbewusstsein des Auges begründet ist, lässt sich nicht leicht sagen, doch kann man, wenn man sich das reflektorische Moment des Bewegungsaktes vor Augen hält, sehr gut beide Auffassungen mit einander vereinen. Uebrigens ist es nicht unwahrscheinlich, dass das Zustandekommen des ataktischen Anhanges an meinem Bulbus durch den übermässigen Langbau desselben erleichtert wird.

Die typische S-Figur (Taf. VIII, Fig. 6) ist eine centrische Curve. Durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes wird sie in zwei symmetrische nach entgegengesetzten Richtungen convexe Bogen getheilt. Da sie durch den Mittelpunkt geht, befand sich das Auge auf einem Punkte seiner Bahn in Primärlage. Der Blickmeridian erleidet keine Raddrehung, da die Curve centrisch ist.

Wenn wir hier so vorgehen, wie in den früheren Fällen, so erhalten wir für den Blick auf F, den Fixpunkt, $O_{,,}$ als das centrum ratinae, $\alpha_{,,}O_{,,}\beta_{,,}$ als die Lage des erregten Netzhautstreifens. Für den Blick auf Z liegt die fovea centralis in $O_{,}$, der Streifen in $\alpha_{,}O_{,}\beta_{,}$. Daraus ergibt sich für das Centrum als Weg die doppelt gekrümmte Linie $O_{,,}OO_{,}$. Die Blicklinie läuft entlang der krummen Bahn FOZ. Die Hauptaxe der Bewegung steht hier wie überall senkrecht auf der Blickmeridianebene und der ihr entsprechende Antheil an der Bewegung ist die geradlinige Wanderung der Blicklinie von F nach Z. Ausserdem macht aber die Blicklinie noch Schwankungen, welche einer ganzen Schwingung gleichkommen, indem sie sich zuerst nach der einen Seite vom Blickmeridian entfernt, sich ihm wieder nähert, durch ihn

hindurchschwingt, um schliesslich dauernd zu ihm zurückzukehren.

Auf den Charakter dieser Schwankungen wollen wir erst bei der speziellen Besprechung der einzelnen Blickebenen eingehen und hier nur erwähnen, dass die periodischen Bewegungen sowohl um eine im Blickmeridian und der primären Axenebene gelegene als auch um eine anteroposteriore Axe stattgefunden haben kann. Im letzteren Falle müssten die Raddrehungen des Blickmeridians genau einer Pendelschwingung entsprechen, denn er befindet sich im Beginne der Bewegung nach dem Listing'schen Gesetze in Primärlage, geht durch dieselbe, wenn das centrum retinae belichtet wird, und kehrt am Schlusse wieder in dieselbe zurück.

Wir nahmen hier als Paradigma eine vollständig regelmässige S-Figur, doch finden sich viel häufiger solche mit verschiedenen Unregelmässigkeiten versehene. Bald zeigt ein Schenkel eine auffallende Knickung (Fig. 20 der Tafel IX) und lässt das Centrum abseits liegen u. s. w.

So wären denn die drei als Grundtypen aufgestellten Linien kurz skizzirt und es bleibt uns nur noch übrig anzudeuten, wie sich dieselben auf die 8 Blickebenen vertheilen, wie sich also die Bulbuswege im Einzelnen verhalten.

Ich gehe bei den folgenden Erwägungen zum grossen Theile von den Befunden aus, welche Dr. Lustigs rechtes Auge ergab, weil dieselben, wie schon anfangs erwähnt, an Klarheit nichts zu wünschen übrig lassen, ferner weil sie von merkwürdiger Gleichheit bei den wiederholten oft längere Zeit auseinander liegenden Versuchen waren, und das betreffende Auge, obwohl mässig myopisch, doch nicht den hochgradig pathologischen Langbau des meinigen aufweist.

In der beigegebenen Tafel habe ich einige zumeist typische Curven zusammengestellt. An dem rechten Ende derselben ist mit einer römischen Ziffer die Blickebene bezeichnet und zwar mit positivem Vorzeichen, wenn der Blick aus der linken Hälfte des Gesichtsfeldes in die rechte, mit negativem, wenn er umgekehrt gegangen war. Die punktirte Linie gibt die Gestalt der Bahn der Blicklinie an.

A priori ist klar, dass ein Extrem in das andere nicht plötzlich umspringen, sondern dass die Umwandlung durch Uebergangsformen vermittelt werden wird, und zwar ist überall dort,

wo eine Convexität in eine Concavität übergeführt wird, eine der Geraden sich mehr oder weniger nähernde Strecke im Bulbuswege zu erwarten. Doch gibt es Ebenen, in welchen die Innervation zu schwanken scheint, denn es ist die Curve bei verschiedenen Versuchen bald dem einen bald dem anderen Extrem benachbarter Ebenen ähnlich und man findet einmal eine Convexität, wo man vorher eine Concavität gesehen oder umgekehrt. Solche Ebenen sind auch daran erkennbar, dass die Blickbewegung darin nur mit Schwierigkeit gelingt und das Auge sehr bald ermüdet. Auch ist es interessant, dass diese Ebenen gerade diejenigen sind, in welchen nach Lamansky der Blick am langsamsten bewegt wird.

Beim Blicke in der Ebene I, d. h. wenn Fixationspunkt und Ziel senkrecht über einander stehen, fand ich sowohl bei meinem als bei Dr. Lustig's rechtem Auge, gleichgiltig, ob von oben nach unten oder von unten nach oben geblickt wurde, mehrfach gebogene Curven. Lustig's Curve ist typisch von der Gestalt, wie sie Fig. 22 der Tafel IX zeigt. Sie beginnt im linken oberen Quadranten, geht nach links convex gegen den Mittelpunkt und endet nach einem nach rechts convexen Bogen im rechten unteren Quadranten. Anfangs- und Endpunkt der Linie sowie der Mittelpunkt liegen in einer Geraden.

Wie wir im Früheren gesehen haben, bedeutet eine centrische Curve immer, dass der Blickmeridian am Ende der Bewegung eine Lage hat, als hätte er sich um eine auf ihm senkrechte Axe gedreht, dass also seine Projektion auf das ebene Gesichtsfeld am Ende dieselbe ist wie am Beginne. Es muss sich mithin sowohl α als β im Blickmeridian abbilden. Dennoch sehen wir beide Enden der Curve vom Meridian abweichen. Ich hielt dies anfangs für einen Zeichenfehler, glaubte dann, es sei thatsächlich in der Richtung $\alpha O \beta$, also um den Winkel φ abweichend von der markirten Linie geblickt worden, überzeugte mich jedoch bald, dass die Erscheinung auf einer Sinnestäuschung beruhe.

Ich liess die untere Marke fixiren und forderte dann auf, durch Drehung des Kreisschirmes die obere Marke senkrecht über die untere zu stellen, und da zeigte sich die merkwürdige Erscheinung, dass in allen Fällen der Fehler begangen wurde, dass die vermeintliche Senkrechte von der richtigen um mehrere Grade abwich und zwar immer so, dass der Fusspunkt der sogenannten schiefen Linie vom Lothe nach links abstand. Die Winkel, den

beide Linien mit einander bildeten, betrug bei **Lustig** beiläufig 15°, bei mir 5°. Diese Täuschung erklärt uns die Sache; denn wenn ich eine Schiefe für eine Senkrechte halte, muss mir natürlich das Loth im umgekehrten Sinne schief imponiren, wie es in unserer Curve deutlich ausgedrückt ist.

Woher diese Täuschung rührt, dafür liegt folgende Erklärung nahe: Man ist gewöhnt über Senkrecht und Schief mit beiden Augen zu urtheilen. Wollte man dies bei unserem Versuche thun, müssten die Augen ganz bedeutend convergiren und accomodiren, denn der Schirm steht verhältnissmässig nahe. Dann wäre aber die Stellung des rechten Auges eine andere, als wenn, wie vorhin, nur mit diesem allein geblickt wird. Der in der Primärlage senkrechte Meridian desselben wäre nämlich, wie bekannt, der Convergenz und Accommodation entsprechend, mit seinem oberen Theile nach links gedreht, er hätte eine negative Raddrehung gemacht. Eine von der unteren Marke aus nach oben gezogene Senkrechte würde sich also auf anderen Punkten der Netzhaut abbilden und man begeht beim Blicken mit nur einem Auge den Irrthum, eine Linie nur dann für senkrecht zu halten, wenn sie sich ceteris paribus auf eben diesen Punkten abbildet, obwohl sie gegen den Horizont um eben so viel geneigt ist, wie der Meridian, der jetzt thatsächlich senkrecht steht, beim binoculären Sehen geneigt wäre. Diese Urtheilsfälschung betreffs der Wegcurve wird bedeutend abgeschwächt, wenn man für den Blickversuch die beiden Marken durch einen Kreidestrich verbindet. Ganz verschwindet sie jedoch auch dann nicht. An dem gesunden rechten Auge eines Straboten, an dessen linkem Auge vor längerer Zeit die Tenotomie vorgenommen worden war, konnte ich die beschriebene Sinnestäuschung nicht nachweisen, weil es für ihn keinen gemeinsamen Sehakt im Sinne eines Gesunden, also auch nicht die geforderte Stellung der Augen giebt.

Wir müssen demgemäss, wenn wir aus unserer Curve den wirklichen Bulbusweg und die Wirkungsweise der Muskeln herauslesen wollen, in den ihr zugehörigen Meridian umlagern, wir müssen sie im Sinne eines Uhrzeigers um den Winkel φ drehen. Dann sehen wir, dass sich die Blicklinie entsprechend dem Schema Taf. VIII, Fig. 6 längs eines nach links ausweichenden Bogens von der oberen Marke zum Centrum hinbewegt, nach rechts von der Mittellinie ausbiegend zur unteren Marke gelangt.

Diese Nachbildcurve erscheint sowohl beim Blicken von oben nach unten als auch von unten nach oben, im rechten wie im linken Auge. Der Umstand, dass die Nachbilder in beiden Augen gleichsinnig gebogen sind, lässt sich sowohl durch Einzeluntersuchung jedes Auge als dadurch erweisen, dass man sich durch Parallelstellung der Augenaxen Doppelbilder von der Flamme erzeugt und dann die Blickbewegung vornimmt. Es ist ein Beweis, dass die Innervation der einzelnen Muskeln ein willkürlicher, wenn auch unbewusster Akt ist, durch welchen immer consequent diejenigen Muskeln beider Augen in Thätigkeit versetzt werden, welche eine gleichsinnige Bewegung beider Netzhäute zu Stande bringen. Es sind demnach von der Erklärung wenigstens der Curve der Ebene $\pm$ I alle Zweckmässigkeitsgründe auszuschliessen in dem Sinne, es erfordere die eine Bahn eine geringere Energie als eine andere und werde desshalb unbewusst gewählt. Auch als Produkt anatomischer Widerstände darf man sie nicht betrachten und selbst die naturgemässe Heranziehung der Muskelverhältnisse wird erschwert, da alle jene Faktoren für beide Augen gleich angewendet Bahnen ergeben würden, welche sich zu einander wie Spiegelbilder in einem medianen Spiegel verhalten würden, da sie doch in Wirklichkeit gleichsinnig sind, so dass wir nicht nur für das Bewusstwerden von Gesichtseindrücken, sondern auch in motorischer Beziehung ein wahres „Doppelauge" besitzen.

Man weiss, dass nicht jede Netzhaut nur in einer Hirnhemisphäre repräsentirt wird, sondern jede Hälfte ihre Fasern auch zu der gleichnamigen Hirnhälfte sendet, man weiss, wie schon grob anatomisch zwei Antagonisten, Mm. rectus internus und externus in beiden Augen nervös verknüpft sind. Es macht den Eindruck, als würde das gesammte Sehgebiet von einer Centrale regiert, mit einem gemeinsamen Reflexcentrum im Hirnstamme, das die Eindrücke beider Netzhäute empfängt und den Reflex an beide Bulbi vermittelt. Wenn wir unsere Blicklinie bewusster Weise im rechten Auge nach aussen abweichen lassen, geht die des linken nach innen. Es darf uns dann nicht wundern, wenn wir dieselbe Gleichsinnigkeit auch bei den unbewussten Schwankungen der Blicklinie finden, die dieselbe auf ihrem Wege vom Fixations- zum Zielpunkte macht, da nun einmal die gangliösen Apparate für die gleichen Bewegungen beider Seiten derart verknüpft sind, dass so-

wohl bewusste als unbewusste Erregungen nur zugleich in die zugehörigen peripheren Bahnen beider Seiten einschiessen können.

Es frägt sich nur, warum überhaupt die erwähnten Schwankungen der Blicklinie eintreten, da es doch ganz gut denkbar wäre, dass dieselbe wie in einigen Ebenen, überall gradlinig auf ihr Ziel losgehe. Wir erwähnten schon anfangs, dass wir uns das Zustandekommen einer Bewegung des Auges so denken, dass das eine Centrum seinen Tonus verliere, dafür aber ein anderes Erregungen aussende, an alle Muskeln, jedoch nicht an alle in gleicher Stärke. Es ist nicht wahrscheinlich, dass ein Muskel verschieden stark innervirt verschiedene Längen annehme, sondern vielmehr dass er mit einer der Anregung proportionalen Kraft seinem maximalen Contractionszustand zustrebt. Volkmann hat die einzelnen Muskeln gewogen und gemessen und gefunden, dass sie verschieden stark seien, ferner dass im Tode, dem einzigen Zustande, wo die Innervation wirklich = 0 ist, sich die Augen in Primärlage befinden. Wir schliessen daraus, dass die Primärlage jene Gleichgewichtslage sei, wo alle einzelnen Muskelfasern denselben Tonus (im Tode = 0) haben. Denken wir uns nun das Auge in Primärlage und es werde plötzlich eine Bewegung desselben intendirt, eine Bewegung, die ein Muskel auszuführen im Stande wäre, und dieser Muskel hätte auch einen genauen Antagonisten. Das Centrum, das der Bewegung oder vielmehr der anzustrebenden neuen Lage entspricht, wird erregt und vertheilt an jeden Muskel so viel Energie, dass alle zusammen den Bulbus in der neuen Lage fixiren, weil dann zwischen ihnen Gleichgewicht herrscht, was so viel heisst, als, dass ein Muskel, dessen Ansätze in der 2. Lage einander genähert sind, stärker innervirt wird, der, dessen Länge gleich bliebe, seinen Tonus behält. In dem gewählten einfachsten Beispiele mussten alle Muskeln ihren Tonus behalten mit Ausnahme zweier, von denen der eine, kräftiger innervirte, den anderen, erschlafften, zu dehnen hätte. Da sie, wie vorausgesetzt, eine gemeinsame Drehungsaxe haben, wird sich der Bulbus um diese drehen und der Weg der Blicklinie ist leicht zu bestimmen. Er ist eine gerade Linie im ebenen Blickfelde, wenn die betreffende Axe in der primären Axenebene liegt, ein Punkt, wenn die Axe mit der Blicklinie zusammenfällt, sonst ein Kegelschnitt. Sind die beiden Muskeln nicht genaue Antagonisten, dann ist die Bahn der Blicklinie ein Produkt aus zwei Curven, welche einzeln entstehen würden,

wenn jeder von diesen Muskeln sich contrahiren könnte, ohne den anderen zu dehnen. Der aktiv wirksame Muskel hat aber immer den passiven Widerstand des anderen zu überwinden, der seinen Tonus nie ganz, ausser im Tode, verliert. Da der Widerstand nicht um dieselbe Axe wirkt wie die Kraft, alterirt er die Bahn derselben, und macht das Eingreifen dritter Muskeln nothwendig, er alterirt sie umsomehr, je kürzer und dicker der gedehnte Muskel ist.

Einen neuen Faktor muss man in das Kalkül ziehen, wenn sich mehrere Muskeln contrahiren müssen, um den Augapfel in seine neue Lage zu drehen. Es ist die Contractionsgeschwindigkeit der Muskeln. Bei gleichem Widerstande kann man sich sie proportional der Kraftzunahme denken. Die Kraftzunahme aber ist proportional einerseits der Innervationsschwankung, andererseits dem Querschnitte des Muskels, nicht seiner Länge. Umgekehrt proportional ist die Geschwindigkeit der Zusammenziehung den Widerständen, denen dieselbe begegnet. Wenn sich also z. B. 2 Muskeln hauptsächlich an dem Zustandekommen einer Bewegung mit Contractionen betheiligen, kann der eine sich rasch und kräftig zusammenziehende den Anfang der Bahn so beherrschen, dass dieselbe die Gestalt seiner Curve hat, und erst dann den andern zur Geltung kommen lassen, wenn er selbst in Contractionslage ist, ja er kann dann als Widerstand auftreten, weil er zum Theile Antagonist des anderen von diesem um Einiges wieder gedehnt werden muss. Es zeigen sich solche Fälle manchmal als Knickungen im Bulbuswege ausgeprägt.

Bevor wir von dieser Abschweifung zu der speziellen Besprechung der 8 Blickmeridiane zurückkehren, müssen wir noch einige kurze Bemerkungen über die Anordnung der Augenmuskulatur machen, da sie zum Verständnisse der von uns gefundenen Wegcurven unbedingt nothwendig sind. In Taf. VIII, Fig. 7 *A* ist das gebräuchliche Schema für die Drehungsaxen, welche den verschiedenen Muskeln zukommen, dargestellt. Es ist ein Horizontalschnitt durch das in Primärlage befindliche rechte Auge. Die Bezeichnungen der Muskeln sind, wie überall üblich, an dasjenige Ende der Axe gesetzt, an welchem die Drehung im Sinne einer Uhrzeigerbewegung vor sich geht, wenn man sich den Bulbus vor sich und das betreffende Axenende dem eigenen Auge zugekehrt denkt. Dieses Ende mit dem Drehpunkte verbunden giebt die

positive Halbaxe. Die Abweichung der Axe des Musculus rectus superior und inferior von der Medianebene des Auges schätzt man auf 66°—71°, die der Musculi obliqui auf 36°—38°.

Volkmann bestimmte auch die Winkel, welche die positiven Halbaxen mit der primären Blickebene einschliessen und fand für den:

M. rect. sup.	einen ∢ von	17°5′	rechts nach unten,	links nach	oben
M. rect inf.	„ „ „	18°34′	„ „ unten	„ „	oben
M. obl. inf.	„ „ „	6°14′	„ „ unten	„ „	oben
M. obl. sup.	„ „ „	10°45′	„ „ oben	„ „	unten

Wir haben aus diesen Daten das Schema *B* der Fig. 7, Taf. VIII gebildet, welches einen Frontalschnitt des rechten Auges versinnlicht. Die positiven Hälften der Axenprojektionen sind ganz, die negativen punktirt gezeichnet. Alle positiven Halbaxen liegen, wie man sieht, unter dem Horizonte mit Ausnahme der des M. obl. sup.

Um aus diesen Halbaxen die zugehörigen Wege der Blicklinie und des Blickmeridians, wie sie bei Contractionen je eines Muskels zu Stande kämen, zu erhalten, erwägen wir Folgendes. Wenn der Bulbus eine vollständige Drehung von 360° um eine der Axen machen würde, dann beschriebe die primäre Blicklinie im Allgemeinen einen Kegelmantel, dessen Spitzenwinkel dem doppelten Winkel gleich wäre, den die Blicklinie mit der Axe einschliesst. Der Weg der Blicklinie im Gesichtsfelde ist dann ein Kegelschnitt, der leicht zu finden ist. Ausgenommen sind nur die beiden Mm. recti laterales, bei deren Contractionen die Blicklinie geradeaus von innen nach aussen oder umgekehrt gehen muss. Die Art der Berechnung des Kegelschnittes, wie wir sie angestellt haben, sieht man aus Taf. VIII, Fig. 8. *AB* ist die Drehungsaxe des Muskels, *AG* zeigt die Blicklinie in Primärlage, wobei *A* den Drehungspunkt des Auges, *O* den Mittelpunkt des kreisförmigen Gesichtsfeldes bedeutet.

Um nun den Weg der Gesichtslinie in diesem Felde zu finden, müssen wir den Kegelmantel in *O* ($AO = d = 70$ cm) durch eine auf *AG* senkreckt stehende Ebene schneiden. Die Kegelschnittslinie, die wir erhalten, ist die gesuchte Curve. Sie ist eine Ellipse, wenn 2α, der Spitzenwinkel des Kegels, kleiner als 90° ist, im anderen Falle eine Parabel.

In Fig. 8 ist die runde Scheibe unseres Versuches durch den Kreis, dessen Centrum *O* ist, angedeutet. yy_1 ist die senkrechte Ordinate, welche wir schief zeichnen mussten, ebenso wie das Licht

G, um die Verhältnisse denen der Mm. obliqui anzupassen, welche hier speziell dargestellt sind.

Für die beiden schiefen Muskeln ist 2α annähernd 74°, folglich würde die Augenaxe eine Ellipse beschreiben, wenn einer derselben allein wirken würde. Die grosse Axe der Ellipse OF ist aus dem rechtwinkeligen Dreiecke AOF

$$OF = 2\,a = AO \text{ tang } 74^0$$
$$AO = d = 70 \text{ cm}$$
$$2\,a = 245 \text{ cm.}$$

Die kleine Axe der Obliquusellipse AD rechnete ich aus der Gleichung

$$a^2y^2 + b^2x^2 = a^2b^2$$

indem ich x und y für den Punkt E suchte. E ist jener Punkt, den ich erhalte, wenn ich in B, dem Durchschnittspunkte der Drehungs- und grossen Axe, eine Senkrechte auf die letztere ziehe. Aus dem $\triangle$ AOB ergiebt sich

$$BO = a-x = d \text{ tang } 37^0 = 52 \text{ cm,}$$

aus dem $\triangle$ ABE

$$BE = y = BA \text{ tang } 37^0$$
$$BA = d.\ \cos 37^0$$
$$y = d.\ \sin 37^0 = 42 \text{ cm}$$
$$b = 44 \text{ cm.}$$

Mithin würde die Augenaxe unter dem Einflusse eines der Mm. obliqui eine Ellipse beschreiben, welche auf unserem 70 cm vom Auge entfernten Schirme eine grosse Axe von 122 cm und eine kleine Axe von 44 cm Länge hatte.

Der Kegel des Musculus rectus superior respective inferior hat einen Spitzenwinkel von beiläufig 140°, wird also vom senkrechten ebenen Gesichtsfelde in einer Parabel geschnitten. x und y auf dieselbe Art wie bei der Ellipse für den Punkt E berechnet:

$$x = 190 \text{ cm}$$
$$y = 540 \text{ cm}$$
$$y^2 = 2px$$
$$p = 790 \text{ cm.}$$

Die Parabel ist für das Gesichtsfeld, in welches nur ein kleiner Theil derselben fällt, eine äusserst flache Curve. Die Concavität der Ellipse hingegen kommt darin deutlich zum Ausdrucke.

In Taf. VIII, Fig. 9 sind die Curven eingezeichnet. Wir haben das Blickfeld des rechten Auges vor uns, welches bei unseren Ver-

suchen 46° betrug. Die Radien, welche von O ausgehen und an ihren Enden die Anfangsbuchstaben der Augenmuskeln tragen, sind die Drehungsaxen derselben. Wie in Fig. 7 B sind die positiven Hälften voll, die negativen punktirt gezeichnet. Es ist klar, dass die Curven um die Axenprojectionen symmetrisch sein müssen. Ist die Curve eine gerade Linie, dann ist sie eine Senkrechte, welche im Mittelpunkte O auf die Axenprojektion errichtet ist. Dies ist bei den inneren und äusseren Geraden der Fall. Den diesen Muskeln angehörigen Weg der Blicklinie finden wir in Fig. 9 als eine Gerade, welche von V zu V zieht.

Führt aber ein Muskel die Blicklinie in einer krummen Bahn im Gesichtsfelde herum, dann ist diese eine Parabel oder Ellipse, welche von der im Mittelpunkte auf der Axenprojektion senkrecht stehenden Geraden zu beiden Seiten der Projektion gleich stark abweicht. Diese Abweichung der betreffenden Curve von der Normalen ist wichtig, da die Entfernungen ihrer einzelnen Punkte von der zugehörigen Normalen Masse für die Raddrehung des Auges in jenen Momenten sind. Die Concavität ist immer nach jener Seite gerichtet, auf welcher die Drehungsaxe des Muskels das ebene Gesichtsfeld schneidet.

Durch die Axenprojektionen werden die Bogen in symmetrische Hälften zerlegt, die man als positiv und negativ unterscheiden kann. Die positive oder aktive Hälfte ist jene, welche die Blicklinie beschreibt, wenn der Bulbus sich unter dem Einflusse einer Contraction des betreffenden Muskels bewegt. Sie entspricht also dem aktiven Eingreifen desselben. Hätte der Muskel einen genauen Antagonisten wie der äussern beziehungsweise innern Gerade, so würde dieser das Auge bewegen, wie es die negative Hälfte der Curve anzeigt. Die negative Hälfte käme auch zu Stande, wenn der Muskel, der sich gerade in contrahirtem Zustande befindet, allein erschlaffte, so dass die ihm entgegenwirkenden Componenten aller anderen, ihren Tonus nicht ändernden Muskeln das Uebergewicht bekämen.

Die positive Hälfte des oberen Geraden ist in Fig. 9 ol. Die Curve präsentirt sich fast wie eine Gerade, was mit der Grösse ihres Parameters zusammenhängt. In Folge derselben ist auch die Raddrehung, welche der Bulbus erleiden würde, wenn der Musculus rectus superior oder inferior die Augenaxe bis an den Rand unseres ebenen Gesichtsfeldes von 46° brächte, eine sehr geringe.

Es kommt dies schon in der Kleinheit der Strecke *cl* zum Ausdrucke, da *c* das periphere Ende der in *O* auf der Drehungsaxe des oberen Geraden Normalen ist, beziehungsweise der Strecke *qp* für den unteren Geraden. Die Grösse der Raddrehung für einen beliebigen Punkt der Bahn erhält man, wenn man in demselben eine Tangente an die Curve legt und den Winkel bestimmt, den sie mit der Normalen einschliesst.

Die negative Hälfte unserer Parabel ist *Oa*. Mit ihr müsste die positive Parabelhälfte des M. rect. inf. zusammenfallen, wenn er der Antagonist des superior wäre. Er wirkt diesem jedoch nur, wie aus seiner Curve *Oq* hervorgeht, in Bezug auf die Raddrehung und in Bezug auf eine in der primären Axenebene gelegene horizontale Axe entgegen. Für eine senkrechte Axe sind beide synergisch. Die Erschlaffungsparabel des M. ret. inf. ist *Od*.

Der stark convexe Bogen *On* ist die Contractionsellipse des M. obl. inf., die zugehörige negative Curve ist *Ok*. Wie die Grösse der Linie *bn* andeutet, wäre die Raddrehung eine sehr bedeutende, wenn dieser Muskel allein wirkte. *Om*, die aktive Ellipse des M. obl. sup., fällt ebenfalls nicht mit *Ok*, der negativen des inferior zusammen, daher auch diese Muskeln keine vollkommenen Antagonisten sind, obwohl in höherem Grade als oberer und unterer Gerader.

Nach diesen Erwägungen können wir in der Erläuterung der interessanten Lustig'schen Curve 22 der Taf. IX weitergehen. Wir kennen von der zugehörigen Bulbusbahn den Weg der Augenaxe im Gesichtsfelde, welcher punktirt gezeichnet ist, und von dem in der Primärlage senkrecht stehenden Meridian wissen wir, dass er am Beginne, in der Mitte und am Ende der Bewegung dieselbe Lage habe wie in der Primärlage. Denken wir uns als Ausgangspunkt für die Bewegung die Fixation der oberen Marke, so ist unsere nächste Aufgabe, den Zustand der Muskulatur für diese Lage festzustellen. Unverändert in ihrer Länge gegenüber der Primärlage sind die beiden Mm. recti laterales. Der M. rectus superior und obliquus inferior ist verkürzt, rectus inferior und obliquus superior ist gedehnt. Die Drehungsaxen haben annähernd dieselbe Lage wie in der Primärstellung; da einerseits die Excursion verhältnissmässig keine bedeutende ist, andererseits nach Helmholtz die Schwankungen in den Zugrichtungen der Muskeln durch entsprechenden Wechsel in der Spannung der ver-

schiedenen Faserportionen der fast fächerförmig sich ausbreitenden Sehnen auf ein Minimum herabgesetzt werden.

Um in die Zielpunktslage zu gelangen, müssen die Muskeln ihren Tonus wechseln, d. h. die gedehnten müssen sich zusammenziehen, die contrahirten gedehnt werden. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass jede Muskelzusammenziehung auch einen grossen oder überhaupt einen Einfluss auf den Bulbusweg ausüben müsse, denn es ist ganz gut denkbar, dass die allzurasche Contraction eines mächtigen Synergisten die Ansätze eines anderen sich langsamer zusammenziehenden einander so rasch nähert, dass dieser gleichsam vom Bulbus, den er ziehen sollte, überholt wird. Die Anforderungen, welche an die einzelnen Muskeln bei der Bewegung in der Ebene I gestellt werden, sind sehr verschieden. Hauptsächlich betheiligt sind natürlich oberer und unterer Gerader. Den Bruchtheil von einer Muskelkraft, der der Bewegung um eine bestimmte Axe zu Gute kommt, finde ich, wenn ich den Radius des Augapfels, der mit der Richtung der Drehungsaxe des Muskels zusammenfällt, auf die spezielle Axe projicire und den Radius = 1 setzend die Länge dieser Projektion bestimme. Den echten Bruch, den ich so erhalte, will ich die D r e h u n g s c o m p o n e n t e des Muskels für die Axe nennen. Die Drehungscomponenten für die Axe der Ebene I sind:

der Mm. rect. sup. et inf. $= \pm 0{,}893$
der Mm. obl. sup. et inf. $= \pm 0{,}587$
der Mm. rect. int. et ext. $= \pm 0.$

Diese Zahlen lehren, dass oberer und unterer Gerader bei Bulbuswegen entsprechend der Ebene I am meisten, weniger die Schiefen, die seitlichen Geraden gar nicht sich zusammenziehen respective ausdehnen müssen — eben proportional den Drehungscomponenten. Sollte hingegen einer dieser Muskeln das Auge allein um die Horizontale, in der primären Axenebene gelegene Axe drehen, dann wäre seine Zusammenziehung der Drehungscomponente umgekehrt proportional. Die Zugkräfte der Muskeln für diese Axe verhalten sich zu einander wie die Produkte aus den absoluten Kräften in die Drehungscomponenten D. Für jede Ruhelage des Auges ist

$$\Sigma\,(QJD) = 0$$

sein, wenn QJ die absolute Kraft, nämlich Q den Querschnitt und J eine variable Innervationsgrösse bedeutet.

Wenn nun also das Auge aus der Fixation der oberen Marke in die der unteren übergeht, so ist es hauptsächlich ein Werk des unteren Geraden. Die nach unten wirkende Componente seiner Kraft wird durch die gleichgerichtete des oberen Schiefen unterstützt, seine raddrehende durch ebendenselben vielleicht genau aufgehoben, seine nach innen wirkende aber findet nur schwachen Widerstand. Wollte man daher den Bulbusweg theoretisch construiren, so erhielte man einen nach innen convexen Bogen, indem der äussere Gerade durch den unteren wie ein elastisches Band gedehnt, das Auge wieder sagittal stellen müsste, wenn dieser in Contraktionsruhelage stillsteht. Die wirkliche Bahn der Augenaxe ist aber für die Ebene *I* am rechten Auge nur in ihrer oberen Hälfte, am linken nur in der unteren dieser Regel entsprechend gebogen, so dass man sagen kann, es folge über dem Horizonte das linke Auge dem rechten, unter dem Horizonte das rechte dem linken. Eine solche Abänderung des Bulbusweges kann nur durch den äusseren Geraden bewirkt werden, indem er sich in der oberen Hälfte linkerseits, in der unteren Hälfte rechterseits zusammenzieht. — Es ist also auch hier bei den Bewegungen, von welchen gewöhnlich nichts in das Bewusstsein gelangt, ebenso wie bei den bewussten, Dehnung des äusseren Geraden der einen Seite untrennbar mit Zusammenziehung desjenigen der anderen Seite verbunden.

Fig. 2 der Taf. IX ist jene Curve, welche in jedem meiner Augen beim Blicken in der Ebene *I* fast regelmässig erscheint. Sie unterscheidet sich von Lustigs Nr. 22 nur dadurch, dass ihre Enden nicht so weit von der Senkrechten abstehen, und ausserdem ist sie nach grösseren Radien gebogen. Beim Blicken von unten nach oben erhielt ich sehr häufig Nachbilder von der Gestalt der Curve Nr. 1. Sie gleicht ganz der eben beschriebenen, trägt aber am jüngeren, dem unteren Ende, noch einen kleinen nach links convexen Bogen. Der Weg der Augenaxe erweist sich dementsprechend. Dieselbe geht nicht, nachdem sie von ihrer unteren Fixationslage zum Mittelpunkte gelangt ist, in einem nach links convexen Bogen auf ihr Ziel los, sondern sie weicht erst nach links aus, nähert sich wieder der Mittellinie, um über dieselbe hinauszuschiessen und dann erst in Zielpunktslage zu gelangen. Es hat den Anschein, als hätte sie das Ziel verfehlt, das sie sonst immer mit einem Griffe erfasst.

Ebenfalls am jüngeren Ende des Nachbildes erscheint der atactische Anhang. Deutlich ausgebildet ist er in Nr. 3. Fast wie eine Verzerrung der ganzen Linie nimmt er sich in Nr. 4 aus. Nur im unteren Theile dieser ganz unregelmässigen Muskelzuckungen ist noch annähernd die eigentlich zu Grunde liegende Curve ausgeprägt.

In der Ebene *I* sahen wir im Allgemeinen keinen Unterschied in der Gleichung der Curven für die beiden entgegengesetzten Blickbewegungsrichtungen. Drehen wir aber den Blickmeridian um 5° im Sinne eines Uhrzeigers, so finden wir für den Blick nach oben (Nr. 5) im Wesentlichen die Curve der Ebene *I*. Anders ist schon Nr. 6 für den Blick nach unten. Die Gestalt ist noch S-förmig, aber die Augenaxe überschreitet die Medianebene des Auges nicht in der Mitte ihrer Bahn, sondern weit unterhalb derselben. Die untere Halbschwingung der Augenaxe ist also schwächer ausgebildet und die Wirkung des äusseren Geraden, dessen Produkt sie ist, schon grossentheils verdeckt. Es kommt dies daher, dass die Bewegung jetzt nicht mehr senkrecht nach unten, sondern auch nach innen gerichtet ist und das Eingreifen des M. rect. int. erfordert, des reinen Antagonisten jenes Muskels. Es ist also schon daraus zu erwarten, dass, je grösser die horizontale Componente wird, desto mehr der äussere Gerade in den Hintergrund trete und unmittelbar die untere nach rechts gerichtete Convexität der S-Figur nach und nach verschwinde — natürlich in der Curve, welche den Bulbusweg selbst vorstellt, denn in dem Nachbilde muss sich die Sache umgekehrt verhalten, d. h. dasselbe muss sich allmählig in einen nach rechts convexen Bogen verwandeln, was auch thatsächlich geschieht.

Wenn die Ebene des Blickmeridians einen Winkel von etwa 5° mit der Senkrechten einschliesst, erscheint in dem rechten Auge von Dr. Lustig bei positiver Blickrichtung, d. i. von unten nach oben, nicht wie bei mir eine regelmässige S-Figur, sondern eine stark convexe, mit ausgebauchter und verlängerter unterer Hälfte (Nr. 23). Dieselbe ist auch stark mit ihrem oberen Ende nach links gedreht. Bei negativer Blickrichtung in dieser Ebene ist bei Lustig die untere Convexität des zweifach gebogenen Bulbusweges schon ganz verschwunden, denn das Nachbild ist ein nach rechts convexer Bogen (Nr. 24). Der Bogen entspricht keinem Kreisabschnitte, sondern es nehmen die Radien des Nachbildes

von oben nach unten, mithin die des Bulbusweges von unten nach oben zu. Die horizontalen Componenten der Bahn wachsen im ersten, grösseren Theile derselben fast in gleichem Verhältnisse wie die senkrechten, woher die Flachheit der Curve daselbst stammt. Gegen das Ende sinken die horizontalen Zugkräfte rapid, während die senkrechten nur sehr langsam wachsen. Es überwiegt eben im Beginne der Musc. rect. inf., welcher rasch und kräftig nach unten und innen zieht und dadurch neben anderen auch den äusseren Geraden dehnt. Später, wenn er sich seiner Contraktionslage nähert und sich langsam verkürzt, kommt erst der letztere zur Geltung, der nun seinerseits die Augenaxe rasch der Medianebene des Auges nähert. Dass er sie nicht ganz in dieselbe hineinbringt, ist wahrscheinlich ein Werk des inneren Geraden. Den einfachen nach rechts ausweichenden Bogen finde ich unter meinen Curven erst bei der Ebene *II*, jedoch nie so ausgeprägt in den Details, weil er wie die meisten meiner Nachbilder viel flacher ist als bei Lustig.

Bei positiver Blickrichtung um 10° von der Senkrechten abweichend, sieht mein rechtes Auge eine gerade Linie oder eine solche, welche fast unmerklich um die Bewegungslinie schwankt (Nr. 7), bei negativer eine S-Figur mit ausgezogenem unteren Bogen (Nr. 8). Da die Gerade centrisch ist, deutet sie eine Bulbusbewegung um eine in der primären Axenebene gelegene Axe an. Dieselbe hat die Richtung der Linie *ab* in Nr. 7 der Taf. IX. Die Bahn der Augenaxe fällt fast mit der Erschlaffungscurve des unteren Geraden zusammen, wie aus einem Vergleiche mit *Od* der Fig. 9 im Texte hervorgeht, und es gewinnt diese Vorstellung an Wahrscheinlichkeit, wenn man bedenkt, dass nach Volkmann der untere Gerade fast um die Hälfte schwerer und dicker ist als der obere. Bei Lustig findet sich nirgends eine centrische Gerade.

Nr. 9 und 10 der Tafel sind meine Nachbilder für die Ebene $\pm$ *II* und zwar, wie vorauszusehen war, nach rechts convexe Bogen, ebenso wie die folgenden. Für den Blick nach oben sind im Allgemeinen hier die Bogen flacher. Dass die Augenaxe unter dem Zuge des M. rect. sup. weniger nach innen abweicht als unter dem des inf., erscheint dadurch begründet, dass die Parabel des ersteren (Taf. VIII, Fig. 9, *Ol*) mit der Senkrechten kleinere Winkel einschliesst als die des letzteren (Fig. 9, *Oq*).

Nr. 25 und 26 der Lustig'schen Curven entstammen einem der letzten Versuche, der durchaus atypische und schwankende Resultate ergab. Wie eine bewusste Bewegung durch viele Uebung zum Reflexakt werden kann, indem die Hirnrinde sich immer weniger und weniger an ihrem Zustandekommen betheiligt, wie es bei allen Fertigkeiten der Fall ist, so stumpft sich bei dauernder Selbstbeobachtung leicht das Reflektorische einer Handlung ab. Es tritt das Bewusstsein in den Vordergrund derselben und damit eine intensive Hemmung auf. Die leitende Vorstellung ist jetzt weniger eine sensorische als eine motorische, das Individuum will nicht den Zweck der Bewegung, sondern diese selbst, es will nicht mehr sehen, sondern blicken. Wir fühlten nach zahlreichen Versuchen häufig, wie das Auge nicht leicht seinem Ziele zuschnellte, wie wir dasselbe gewissermassen mit Bedacht demselben zuführen mussten. Einem solchen Momente der Indisposition verdanken die Nachbilder 25 und 26 ihre Entstehung und wir führen sie als ein Beispiel dafür an, dass gelegentlich ein Resultat allen anderen Ergebnissen diametral gegenüberstehen kann. Diese beiden Linien sind S-Figuren mit umgekehrten Convexitäten. Sie stimmen untereinander so gut zusammen, dass sich das Auge offenbar damals nach anderen Gesetzen bewegt haben muss als normal.

Eine Auswahl von Bildern für *III* meines rechten Auges ist in Nr. 11, 12 und 13. Nr. 11 entspricht einer positiven Bewegung in dieser Meridianebene. Der zugehörige Weg der Augenaxe ist ein flacher nach links und oben convexer Bogen, genau wie Nr. 27 bei Dr. Lustig. Beide sind um vieles flacher als die negativen Wegcurven derselben Bewegungsrichtung. In Nr. 12 ist eine solche stark ausbiegende dargestellt zugleich mit ataktischem Anhang. Ebenso in Nr. 13. Die Wegcurve ist hier genau dieselbe wie in Nr. 12, doch unterscheidet sich die Bulbusbahn wesentlich dadurch, dass der in Primärlage senkrecht stehende Meridian im Beginne und am Ende der Bewegung andere Lagen einnimmt als in dieser. Wie wir an der Hand der Fig. 5, Taf. VIII im Früheren ausgeführt haben, bedeutet ein solcher excentrischer Bogen wie Nr. 13 eine Schwankung des Meridians um 2φ, dem Doppelten jenes Winkels, welchen die Sehne des Bogens mit der Bewegungsrichtung einschliesst, hier also etwa um 11°. Die Lagen des Meridians convergiren nach der Seite, nach welcher die Convexität der Wegcurve gerichtet ist, mithin nach links und oben. Aus dem

Listing'schen Gesetze lässt sich unmittelbar die Regel ableiten, dass die verschiedenen Lagen des in Primärlage senkrecht stehenden Meridians bei Bewegungen des Auges nach derjenigen Seite hin convergiren, nach welcher das hintere Ende der Augenaxe von der primären Blicklinie abweicht. Folglich weicht in Nr. 13 das hintere Ende der Augenaxe nach links und oben von der primären Blicklinie ab und in dem betreffenden Versuche stand der Mittelpunkt der Kreisscheibe rechts und unterhalb vom primären Blickpunkte. Die negative Curve der Ebene *III* ist auch bei Lustig stärker gebogen als die positive und zeigt ausserdem wieder die charakteristische Biegung der Curve 24, wahrscheinlich aus denselben Gründen wie jene.

Die Ebene *IV* nähert sich schon stark der Horizontalen. Der obere und untere Gerade haben hier nur wenig zu thun, es arbeiten hauptsächlich die seitlichen Geraden. Die Nachbilder sind hier flache Bogen, welche nach rechts und unten ausweichen (Nr. 14). Es sind die Resultate in beiden untersuchten Augen dieselben. Doch haben wir in Nr. 29 eine Lustig'sche Curve abgebildet, welche durch ihre Form interessant ist. Der Weg der Augenaxe im Gesichtsfelde ist der typische flache nach links und oben ausweichende Bogen. Hier ist das ältere Ende des Nachbildes abgehoben, jedoch, abweichend von den im Früheren dargestellten, die Bewegungsrichtung überschreitend nach der anderen Seite derselben. Wir sahen, dass dann, wenn der excentrische Bogen die Bewegungsrichtung nicht überschritt,

1. Die Wegcurve nach kleinerem Radius gebogen war als das Nachbild,

2. Die Lagen des in Primärlage auf der Bewegungsrichtung senkrecht stehenden Meridians nach derjenigen Seite convergirten, nach welcher die Convexität der Wegcurve gerichtet war, und

3. Dass die Primärlage für den betreffenden Versuch insofern falsch bestimmt war, als die gesuchte wahre primäre Blicklinie auf derselben Seite von der gefundenen unrichtigen lag, wie die Wegcurve.

Für Nr. 29 gilt in jeder Beziehung das Gegentheil: Die Wegcurve ist weniger convex als das Nachbild, die Meridiane convergiren gegen dieses und nicht gegen die Wegcurve und die Blickbewegung ging links und oberhalb von der beabsichtigten vor sich.

V ist die Horizontalebene. Für meine Augen ist sie die einzige, in welcher für die positive und negative Bewegung regelmässig centrische gerade Linien erscheinen (Nr. 15). Die Bulbi bewegen sich also genau um senkrechte, in der primären Axenebene gelegene Axen. Die wirksamen Muskeln sind hier natürlich die beiden seitlichen Geraden. Dr. Lustig sieht beim Hin- und Herblicken in der Horizontalen keine Geraden, sondern flache, nach unten convexe Bögen (Nr. 30). Da diese Ausbiegung der Bulbusbahn kaum durch Muskelwirkung zu erklären ist und einem nach unten convexen Wege des centrum retinae gleichkommt, liegt es nahe, daran zu denken, ob nicht der Opticus, der mit seiner nicht unbedeutenden Masse an dem hinteren Hebelarme hängt, diese Modifikation des Bulbusweges bewirke. Von der Heranziehung dieses Faktors hält mich jedoch hauptsächlich der Umstand ab, dass gerade in meinem Auge, dessen Langbau einen derartigen Einfluss unterstützen müsste, nichts von einem solchen zu merken ist. Hie und da findet sich unter meinen Curven für die Ebene *V* eine excentrische Gerade (No. 16, 17). Die Bedeutung derselben haben wir schon erörtert. Merkwürdig ist nur, wie bei einer ganz geringen Verschiebung der Bewegungsrichtung unter die Horizontale (Nr. 16) die Augenaxe stark nach oben, im entgegengesetzten Falle (Nr. 17) nach unten bogenförmig ausgreift.

Zwischen den Ebenen *V* und *VI* wurden grösstentheils von mir gerade Linien gesehen, von Lustig leicht nach unten convexe Bögen. In der Ebene $\pm$ *VI* sind die letzteren ausschliesslich zu finden (Nr. 18, 31).

Die Ebene $\pm$ *VII* zeigt bei meinem rechten Auge schon ausgeprägte S-Figuren als Uebergänge zur Ebene $\pm$ *I* (Nr. 20), für — *VII* erhielten wir nicht selten auch die dritte Convexität (Nr. 19) u. z. noch deutlicher ausgeprägt als für *I*. Die hier auftretenden S-Figuren sind keine regelmässigen. Der untere Bogen des Nachbildes ist stark verlängert und der obere flach gedrückt.

Für die Bewegungsrichtung — *VII* zeichnet Lustig durchaus Curven von der Gestalt der No. 32. Der rechte untere Theil der Curve wurde constant geknickt dargestellt, welche Unregelmässigkeit des Bildes so lebhaft empfunden wurde, dass mich Dr. Lustig darauf aufmerksam machte. Die Knickung liegt im oberen Theile des Bulbusweges und entsteht durch das plötzliche Eingreifen eines nach innen wirkenden Agens, welches nicht leicht ein anderes als

der innere Gerade sein kann. Es scheint, und ein entsprechendes Gefühl beim Blickwechsel in dieser Richtung unterstützt die Anschauung, als fänden 2 Innervationen nach einander statt. Der Blick schiesst, anfangs ziemlich genau der oberen Rectusparabel folgend, auf ein falsches Ziel los, vielleicht deshalb, weil das Auge über den Zielpunkt schlecht orientirt ist, wird aber, sowie der letztere in deutlicheres Sehen kommt, durch den M. rect. int. in die richtige Bahn gezogen. Da die Muskelverhältnisse speziell für diese Bewegung die denkbar günstigsten sind, kann man den Grund nur in der Retina suchen. Es scheinen die entsprechenden Partien des äusseren unteren Quadranten der Netzhaut reflektorisch hypästhetisch zu sein, wodurch der regelmässige Ablauf des Reflexaktes erschwert wird.

Zeichen noch grösserer Unsicherheit treten in der doppelt geknickten Lustig'schen Curve für + *VII* in No. 33 auf. Während die Nachbilder bei ± *VI* und — *VII* nach unten convex waren, ändern sie hier mit einem Male die Richtung ihrer Ausbiegung. Sie sind nach oben und rechts gebogen. Ging schon die Bewegung in der Richtung — *VII* bei uns Beiden schwer von Statten und ermüdete das Auge sehr bald dabei, so ist dies bei + *VII* in noch viel höherem Grade der Fall. Es macht sich hier ein unangenehmes Gefühl der Spannung und Schwerbeweglichkeit des Bulbus geltend, welches in den anatomischen Verhältnissen begründet ist. Die Bewegung nach rechts unten verkürzt hauptsächlich den oberen schiefen Muskel, weniger den äusseren Geraden, am wenigsten den unteren Geraden. Für die nach aussen gerichtete Componente der Bewegung ist also genügend gesorgt, die senkrechte hingegen kann nur schwer erzeugt werden. Wirkt nämlich der M. obl. sup., der durch seine stärkere Verkürzung vor dem M. rect. inf. hierzu berufen wäre, dann entsteht eine starke Raddrehung, welche nur durch den unteren Schiefen aufgehoben werden kann, zugleich aber mit einer Vernichtung des grösseren Theiles der senkrechten Bewegungscomponente. Des unteren Geraden Parabel wieder weicht so stark von der Bewegungsrichtung ab, dass nur sehr kräftige Contractionen die Bewegungen der Augenaxe beeinflussen können. Es ist daher kein Wunder, wenn das Auge bei dieser Blickbewegung rasch ermüdet und dass hier häufiger als anderswo atypische Curven auftreten.

Beim Blickwechsel in der Ebene ± *VIII* endlich sehe ich

regelmässig die verzogene S-Figur wie bei $\pm$ *VII* (No. 21). Dr. Lustig hat hier noch nach rechts ausbiegende, häufig geknickte Bögen (No. 34). Dass dieselben dem unteren Theile der regelmässigen *S*-Figur der Ebene *I* entsprechen, zeigen Curven wie No. 35, welche in einer geraden oder leicht gebogenen Strecke, welche sich an das obere Ende anschliesst, eine gewisse Neigung zum Uebergange in die 2. Convexität der S-Figur bekunden.

Dies die ersten Resultate mit der Methode des linienförmig ausgezogenen, scheinbar bewegten Nachbildes einer Lichtflamme. Sie wird vielleicht für die Lehre von den Augenbewegungen noch fruchtbar sein. Meinen Beobachtungen viel mehr als individuelle Bedeutung beizumessen, wage ich vorläufig nicht. Sie harren der Bestätigung durch weitere Untersuchungen, welche anzustellen ich selbst nicht in der Lage bin.

Physiologischer Nachweis des Schliessungs-Extrastromes.

Von

Ewald Hering,

Professor der Physiologie an der deutschen Universität Prag.

Mit einem Holzschnitt.

Im Kreise eines Daniell'schen Elementes befinde sich eine primäre Spirale mit Drahtbündel (z. B. die eines Schlittenapparates nach du Bois-Reymond) und ein Quecksilberschlüssel. Dieser Kreis heisse die Hauptleitung. Ferner zweige sich von den beiden Enden der Spirale noch je eine, zu einer Electrode führende Leitung ab, und in eine dieser Leitungen sei ein zweiter Quecksilber-Schlüssel eingeschaltet. Fasst oder berührt man die Electroden mit je einer Hand, so ist auch diese Nebenleitung, wie ich sie nennen will, geschlossen, und es geht jetzt ein Zweigstrom durch den Körper, welcher jedoch zu schwach ist, um em-

pfunden zu werden. Auch wenn man den Quecksilbercontact in der Nebenleitung öffnen und wieder schliessen lässt, tritt keine Empfindung ein. Wird dagegen der Quecksilbercontact in der Hauptleitung geöffnet, so erhält man bekanntlich einen merklichen Schlag durch den Oeffnungs-Extrastrom der Spirale. Die Wiederschliessung des Stromes und der dabei entstehende Schliessungs-Extrastrom sind abermals wirkungslos, weil sich der letztere im Wesentlichen durch die jetzt geschlossene Hauptleitung abgleicht.

Während der eben beschriebene physiologische Nachweis des Oeffnungs-Extrastromes in fast allen Lehrbüchern der Physik und Physiologie Erwähnung findet, werden in betreff des Schliessungs-Extrastromes nur physikalische Experimental-Beweise vorgeführt. Den physiologischen Nachweis habe ich nicht erwähnt gefunden.

Am Nervmuskelpräparat vom Frosche lässt sich jedoch auch der Schliessungs-Extrastrom mit ganz einfachen Mitteln nachwei-

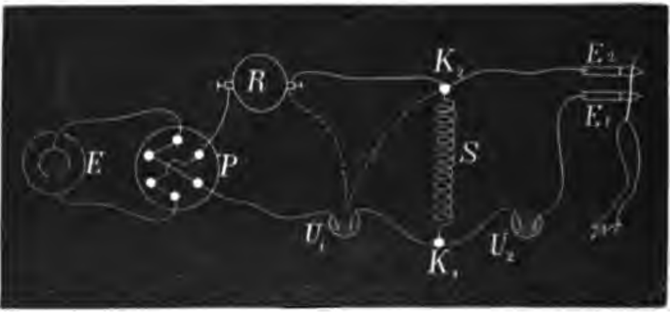


Fig. 1.

sen. Fig. 1 versinnlicht die Versuchsanordnung. E ist ein Daniell'sches Element, P eine Pohl'sche Wippe, R ein Rheostat, U_1 und U_2 sind Quecksilberschlüssel, S eine primäre Spirale von geringem Widerstande mit Drahtbündel, E_1 und E_2 unpolarisirbare Thonstiefel- oder Pinsel-Electroden, über welche der Schenkelnerv mit seinem Mitteltheile[1]) gebrückt wird. Ist zunächst der Rheostat auf das Minimum des Widerstandes (auf 0) eingestellt, und öffnet oder schliesst man die Nebenleitung (K_1, E_1, E_2, K_2) mittels des Schlüssels U_2, so zeigt der Schenkel kräftige Schliessungs- bezw. auch Oeffnungszuckung, denn es geht ein zur Erregung des

1) Man vermeide es, das Ende des Nerven auf die eine Electrode zu legen, weil sonst ein im Nerven aufsteigender Strom wirkungslos werden kann.

Nerven hinreichender Zweigstrom durch die Nebenleitung[1]). Oeffnet oder schliesst man (bei U_1) die Hauptleitung, während die Nebenleitung dauernd geschlossen ist, so verbindet sich die Wirkung des Verschwindens oder Entstehens des Stromzweiges im Nerven mit derjenigen der Extraströme und man erhält entsprechend kräftige Reactionen des Präparates. Man schaltet nun mittels des Rheostaten einen solchen Widerstand in die Hauptleitung, dass die Intensität des durch den Nerven gehenden Kettenstromzweiges eben bis zur Unwirksamkeit herabgesetzt wird, und also Schliessung bezw. Oeffnung der Nebenleitung bei U_2 keine Zuckung mehr hervorruft. Lässt man jetzt die Nebenleitung dauernd geschlossen und öffnet die Hauptleitung, so zuckt der Schenkel kräftig in Folge des Oeffnungs-Extrastromes. Aber auch die Wiederschliessung der Hauptleitung erzeugt jetzt kräftige Zuckung, welche durch den Schliessungs-Extrastrom bedingt ist. Man kann nun den Widerstand in der Hauptleitung meist noch beträchtlich vergrössern, ehe der Gesammtstrom so schwach wird, dass die beschriebene Wirkung ausbleibt.

Eine kleine Abänderung des Versuches genügt, um den Oeffnungs-Extrastrom ganz unwirksam zu machen, während der Schliessungs-Extrastrom unverändert wirksam bleibt. Man giebt dem Drahte, welcher den Rheostaten R mit der Klemme K_2 verbindet, beiläufig in seiner Mitte eine scharfe Knickung, wie dies die punktirte Linie in Fig. 1 andeutet, entfernt an der Spitze des so entstandenen spitzwinkligen Knies die isolirende Hülle, macht die Stelle blank und amalgamirt sie wohl auch. Nachdem man wieder denjenigen Widerstand in die Hauptleitung eingeschaltet hat, bei welchem Oeffnung und Schliessung der Nebenleitung eben keine Zuckung mehr hervorruft, lässt man beide Leitungen geschlossen und taucht nun die Spitze des erwähnten Knies in das Quecksilber des Schlüssels U_1. Dies ist in Betreff des Extrastromes gleichbedeutend mit einer Oeffnung des Stromes in der Hauptleitung; Element und Rheostat sind jetzt so zu sagen aus dem Kreise der Spirale ausgeschaltet, denn es bleibt in demselben

1) Der Strom in der Spirale erleidet bei Oeffnung und Schliessung der Nebenleitung eine minimale Intensitätsänderung, welche entsprechend schwache Extraströme erzeugt, die hier vernachlässigt werden können.

günstigsten Falls ein so minimaler Stromzweig zurück, dass derselbe hier unbedenklich gleich Null gesetzt werden darf. Auf diese Art der Oeffnung des Stromes reagirt nun der Schenkel gar nicht, weil der Oeffnungs-Extrastrom sich jetzt fast ausschliesslich durch die Leitung $K_1 U_1 K_2$ ausgleicht. Hebt man das Knie des Drahtes wieder aus dem Quecksilber, so zuckt der Schenkel kräftig in Folge des Schliessungs-Extrastromes, welchen das Wiederentstehn des Stromes in der Spirale erzeugt. Denn dieses Herausheben bedeutet soviel wie eine abermalige Schliessung des Stromes in der Hauptleitung.

Man kann die Spitze des Knies, statt sie in das Quecksilber des Stromschlüssels U_1 zu tauchen, auch auf eine beliebige Stelle des von P nach K_1 gehenden Drahtes aufsetzen, nachdem man an letzterem ebenfalls die isolirende Hülle entfernt bzw. die Stelle auch noch amalgamirt hat. Dann ist der Schlüssel U_1 ganz entbehrlich. Endlich kann man auch den von R nach K_2 führenden Draht an einer beliebigen Stelle seines Verlaufs nahe über den von P nach K_1 führenden Draht hinweglaufen lassen und die beiden sich kreuzenden Drähte mit einander in Contact bringen, nachdem man jeden Draht an der Berührungsstelle von der Hülle befreit und blank gemacht hat. In jedem der genannten drei Fälle stellt man in der Hauptleitung zwischen Element und Rheostat einerseits und der Spirale anderseits, eine Nebenschliessung von verschwindender Länge her, so dass der Strom aus der Spirale verschwindet und der entstehende Oeffnungs-Extrastrom sich fast ausschliesslich durch diese Nebenschliessung ausgleicht.

Um die beschriebene Ausschaltung des Elementes und des Rheostaten aus der Hauptleitung in bequemer und sichrer Weise herbeiführen zu können, benütze ich besondre Contact-Vorrichtungen. Die eine besteht aus einem gewöhnlichen Quecksilberschlüssel, in dessen Quecksilber überdies an passender Stelle das spitzwinklige Knie eines Kupferdrahtes mit seiner Spitze durch leichte Bewegung eines Hebels eingetaucht werden kann, so dass dieser Schlüssel ebensowohl in der üblichen Weise wie auch zum Ausschalten benutzt werden kann. Die andre Vorrichtung enthält zwei auf einem kleinen Stativ befestigte sich kreuzende starke Kupferdrähte, deren oberer durch Druck auf einen Knopf mit dem untern an der beiderseits mit Platin belegten Kreuzungsstelle in Contact gebracht werden kann; beim Nachlassen des Druckes wird der Contact

durch Federkraft wieder gelöst. Soll er längere Zeit bestehen bleiben, so genügt dazu die leichte Drehung einer Flügelschraube[1]). Es liesse sich leicht eine Vorrichtung herstellen, mittels welcher man einen Muskel ausschliesslich durch Schliessungs-Extraströme tetanisiren könnte.

Am besten lässt sich, besonders für Vorlesungen, die physiologische Wirkung beider Extraströme in folgender Weise zeigen. Statt einer gewöhnlichen, aus einem einzigen Drahte gewundenen primären Spirale benützt man eine nach Art der Widerstandsrollen aus einem Doppeldraht gewundene Spirale, in welcher der Strom die beiden Drähte gleichsam nach einander durchfliesst. Eine an den vier Drahtenden angebrachte Umschaltungsvorrichtung gestattet, je nach Belieben die beiden Drähte bald in gleicher Richtung (gleichläufig), bald in entgegengesetzter Richtung (gegenläufig) zu durchströmen. Ersterenfalls entstehen in der Spirale die Extraströme wie in jeder gewöhnlichen Spirale, letzterenfalls können sie nicht entstehen, weil die Windungen des einen Drahtes in entgegengesetztem Sinne inducirend wirken wie die des andern. Im Uebrigen bleibt die Anordnung des Versuches ganz dieselbe wie in Fig. 1 mit Ausnahme des Schlüssels U_2 in der Nebenleitung, welcher jetzt überflüssig ist. Man durchströmt zunächst die beiden Drähte der Spirale gegenläufig und schaltet soviel Widerstand in die Hauptleitung, dass das Präparat auf Schliessung und Oeffnung der Hauptleitung bei U_1 nicht mehr reagirt; dann schaltet man um, sodass beide Drähte der Spirale gleichläufig durchströmt sind: jede Schliessung und Oeffnung erzeugt nun infolge der Extraströme kräftige Zuckung. Will man nur die Wirkung der Schliessungs-Extraströme zeigen, so bedient man sich wieder der oben besprochenen plötzlichen Aus- und Einschaltung des Elementes und des Rheostaten.

Um den durch den menschlichen Körper gehenden Schlies-

1) Beide Arten von Contactschlüsseln sind überall da zweckmässig, wo es gilt, einen Widerstand oder ein Element plötzlich aus einem Kreise auszuschalten, um die Intensität des Stromes im Kreise plötzlich um ein Bestimmtes zu ändern bezw. auf Null zu bringen. Das Entfernen oder Einführen von Stöpseln verbietet sich hier für gewisse physiologische Versuche aus nahe liegenden Gründen, und die üblichen Methoden der Herstellung bezw. Aufhebung einer Nebenschliessung erfüllen den erwähnten Zweck nicht in so ausgiebiger Weise.

sungs-Extrastrom bemerklich zu machen, bedarf es so starker Ströme, dass dabei die Wirkung der Oeffnungs-Extraströme bald unerträglich wird, wenn man in der beim Nachweis der Oeffnungs-Extraströme üblichen Weise vorgeht. Benützt man aber eine der oben erwähnten Vorrichtungen zum plötzlichen Aus- und Einschalten der Batterie in der Hauptleitung, so spürt man die Oeffnungs-Extraströme auch dann nicht, wenn die Schliessungs-Extraströme bereits sehr kräftige Wirkung geben. Will man beide Arten von Extraströmen bei derselben Intensität des Kettenstromes im menschlichen Körper nachweisen, so schaltet man immer grössere Widerstände und immer mehr Elemente in die Hauptleitung, bis dahin, wo beide Extraströme ungefähr gleich stark empfunden werden. Steigerte ich in solchen Fällen die Widerstände und die electromotorischen Kräfte noch weiter, so wirkte sogar der Schliessungs-Extrastrom deutlich stärker, als der Oeffnungs-Extrastrom, wobei der letztere sich nur durch den Körper, der erstere zugleich auch durch die jetzt ebenfalls grosse Widerstände enthaltende Hauptleitung abgleichen konnte[1]). Die Oeffnung und Schliessung der Nebenleitung darf bei allen solchen Versuchen nie empfunden werden, und es wird dies auch wegen des im Vergleiche zum Widerstande der Spirale sehr grossen Widerstandes im Körper innerhalb der hier in Betracht kommenden Stromstärken nicht eintreten, sofern nicht etwa die Spirale einen unzweckmässig grossen Widerstand bietet, was bei allen in dieser Abhandlung beschriebenen Versuchen zu vermeiden ist[2]).

1) Ich habe nicht weiter untersucht, worauf dieses Ueberwiegen der Wirkung der Schliessungs-Extraströme beruhte. Am Nervmuskelpräparat habe ich unter passenden Umständen zuweilen dasselbe beobachtet.

2) Die in dieser Abhandlung erwähnten Contactschlüssel sowie auch die doppeldrähtige Spirale werden von dem Universitäts-Mechaniker Rothe in Prag angefertigt.

Ueber Störungen der kompensatorischen und spontanen Bewegungen nach Verletzung des Grosshirns.

Von

Dr. **A. v. Koranyi** und Dr. **Jacques Loeb.**

I.

Befestigt man ein Kaninchen in Primärstellung auf einer horizontalen Unterlage, welche um eine vertikale Axe drehbar ist, so gerathen bekanntlich während und nach der Drehung der Unterlage die Augen des Thieres in nystagmatische Oscillationen. Bezeichnen wir, wie üblich, den Sinn dieses Nystagmus nur nach der langsamen Phase dieser Oscillationen (welche Phase allein die kompensatorische Bewegung der Augen während und nach der Drehung repräsentirt), so besteht während der Drehung ein dem Sinn der Drehung der Unterlage entgegengesetzter Nystagmus, nach der Drehung ein dem Sinn der Drehung der Unterlage gleichgerichteter Nystagmus. Den letzteren Nystagmus wollen wir kurz als Nachnystagmus bezeichnen. Die Zahl der nystactischen Nachschwingungen wächst ceteris paribus mit der Zahl der voraufgegangenen Drehungen der Unterlage[1]). Die kompensirenden Bewegungen während und nach der Drehung der Thiere werden, wie die Untersuchungen von Breuer, E. Mach und Schrader[2]) ergeben haben, im inneren Ohr der höheren Wirbelthiere ausgelöst.

---

1) A. v. Korányi, Beiträge zur Lehre vom experimentellen Nystagmus. Ber. d. ungar. Akademie d. W. Bd. V. Referirt im Centralblatt für Physiologie Bd. I. S. 186. 1887.

2) Mach, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875 u. Analyse der Empfindungen, Jena 1886. Breuer, Function der Bogengänge. Med. Jahrb. 1874, Beiträge zur Lehre vom statischen Sinne, Ibid. 1875. Neue Versuche an den Ohrbogengängen, Pflüger's Arch. Bd. 44. Schrader, zur Phys. d. Froschgehirnes, Pflügers Arch. Bd. 41.

Loeb hat früher an einem Hunde, dessen linke Hemisphäre verletzt war, konstatirt, dass das Thier Rechtsdrehungen einer horizontalen Unterlage, auf die es gestellt war, trefflich durch Linksdrehungen seines Körpers kompensirte, dass es aber bei Linksdrehungen der Unterlage nur wenig oder jedenfalls schwächere kompensirende Bewegungen ausführte[1]). Diese Beobachtung legte die Vermuthung nahe, dass ganz allgemein die Reactionen eines Thieres gegen passive Bewegungen, insbesondere auch die kompensatorischen Augenbewegungen nach Verletzung einer Hemisphäre des Grosshirns eine Abschwächung erfahren können. Da die Entscheidung der Frage, wie wir sehen werden, für die Einsicht in das Zustandekommen der nach Grosshirnverletzung auftretenden Störungen der sogenannten „spontanen" Bewegungen nicht gleichgültig ist, beschlossen wir die kompensirenden Augenbewegungen bei Thieren mit verletztem Grosshirn etwas näher zu prüfen. Obwohl unsere Versuche aus äusseren Gründen nicht so weit geführt werden konnten, wie wir es wünschten, so reicht doch das Folgende aus, um einen der wichtigeren hier in Betracht kommenden Umstände klar zu legen.

Kaninchen, denen wir ein Stück aus einer der beiden, und zwar stets der linken Grosshirnhemisphäre exstirpirt hatten, wurden in Primärstellung auf einer horizontalen, um eine vertikale Axe drehbaren Unterlage befestigt. Die Unterlage wurde zehnmal hintereinander kontinuirlich in einer Richtung (nach rechts oder nach links) gedreht, die Bewegung dann unterbrochen und die Zahl der nach der Drehung eintretenden nystactischen Oscillationen der Augen des Thieres von einem bereitstehenden Beobachter ermittelt. Die Bezeichnungen rechts und links sind stets im Sinne des in Primärstellung auf der Unterlage befindlichen Thieres gemeint. Die Zahl der nach 10 Linksdrehungen der Unterlage auftretenden nystactischen Nachschwingungen der Augen bezeichnen wir mit L, die Zahl der nach 10 Rechtsdrehungen der Unterlage auftretenden Nachschwingungen der Augen mit R.

Wir fanden alsdann bei den in der linken Grosshirnhemisphäre operirten Kaninchen, wenn überhaupt eine Abnormität der kompensatorischen Bewegungen eintrat, stets

1) Loeb, Beiträge zur Physiologie des Grosshirns. Pflüger's Archiv Bd. 39, S. 269. 1886.

$R > L$; und zwar war die absolute Grösse der Differenz zwischen L und R beträchtlich höher als die bei normalen Thieren zu beobachtenden Differenzen. Wir wollen etwas näher auf die einzelnen Beobachtungen eingehen.

Bei den Kaninchen, denen wir Stücke der vorderen Partien der einen Grosshirnhemisphäre exstirpirt hatten, waren keine Abnormitäten der kompensatorischen Augenbewegungen nachweisbar. Die Differenzen zwischen L und R, die wir bei diesen Thieren beobachteten, überschritten nicht die Grösse derjenigen, welche auch bei normalen Thieren beobachtet werden. So fanden wir bei einem Kaninchen, das links vorn operirt war, am 3. Tage nach der Operation

L	*R*
38	21
17	20
23	22.

Bei einem zweiten ebenfalls links vorn operirten Kaninchen fanden wir am zweiten Tage nach der Operation

L	*R*
42	41.

Bei diesen Thieren, die keine erheblichen Störungen der kompensatorischen Bewegungen aufzuweisen hatten, bestanden auch keine Störungen der sogenannten spontanen Drehbewegungen.

Anders verhielten sich die Thiere, denen wir Stücke des Hinterhauptlappens exstirpirt hatten. Bei einem dieser Thiere war am zweiten Tage nach der Operation

L	*R*
13	34
10	34,

am 6. Tage

L	*R*
12	43.

Bei diesem Thiere bestanden aber auch Störungen der spontanen Bewegungen, es bevorzugte bei seinen „spontanen“ Bewegungen die Rechtsdrehung. Vom 12. Tage ab waren die „spontanen“ Bewegungen viel normaler; von da ab war aber auch die Differenz zwischen L und R zur Norm zurückgekehrt.

Am 12 Tage war

L	R
22	29.

Ein anderes Thier, das ebenfalls links hinten im Grosshirn operirt war, ergab am 2. Tage nach der Operation

L	R
9	über 100.

Das Thier bevorzugte auch hier bei seinen „spontanen" Bewegungen die Rechtsdrehungen. Am 4. Tage ergab sich

L	R
19	120.

Am 34. Tage nach der Operation war

L	R
11	125.

Bei einem dritten Thier, das ebenfalls links hinten operirt worden war, und welches ebenfalls bei seinen „spontanen" Bewegungen die Rechtsdrehung bevorzugte (und ausserdem eine Neigung zeigte, nach rechts um die Längsaxe seines Körpers umzufallen), trat nach 10 Rechtsdrehungen der Centrifugalmaschine ein äusserst intensiver Nystagmus auf, der aus sehr vielen äusserst raschen und desshalb nicht zählbaren Zuckungen bestand. Nach 10 Linksdrehungen der Unterlage erfolgten nur ganz wenige sehr langsame Schwingungen.

Aehnliche Resultate ergaben andere im Hinterhauptlappen operirte Thiere. Bei keinem derselben war, von den kompensatorischen Bewegungen abgesehen, irgend eine Anomalie in der Stellung oder Bewegung der Augen zu bemerken.

Die Grösse der Störung der kompensatorischen Bewegungen war dagegen nicht immer proportional der Grösse des exstirpirten Rindenstücks. Die Vorgänge, welche sich nach der Exstirpation eines Stückes Gehirnrinde unter dem Schädeldach abspielen, sind bekanntlich keineswegs eindeutig bestimmt. Es kann ganz gut sein, dass früher oder später nach der Operation noch eine Hämorrhagie oder eine Eiterung platzgreift, und dass tiefergelegene Faserzüge vorübergehend oder dauernd ausser Funktion gesetzt werden. Unter solchen Umständen kann es geschehen, dass die Differenz *L*-*R* abnimmt oder gar ihr Vorzeichen ändert, während im Zustand des Thieres eine Verschlimmerung eintritt. In einem Falle trat bei einem Thier 14 Tage nach der Operation eine solche

Umkehr des Vorzeichens von *L-R* bei einem Kaninchen ein und gleichzeitig begann die schon geschlossene Wunde von neuem stark zu eitern. Als der Zustand des Thieres später sich wieder besserte, entsprach das Vorzeichen von *L-R* wieder der von uns aufgestellten Regel. Aber es ist leicht einzusehen, dass derartige Zwischenfälle nicht immer so klar zu Tage zu treten brauchen und dass eine Aenderung des Vorzeichens von *L-R* vorübergehend oder dauernd eintreten kann, ohne dass man den Grund genau angeben könnte. Auch das haben wir in einem Falle beobachtet.

Das Resultat dieser Versuche ist also kurz folgendes: Verletzung der linken Hemisphäre des Grosshirns kann beim Kaninchen zu einer Störung der durch die Centrifugalmaschine auslösbaren kompensatorischen Bewegungen führen, der Art, dass der Nachnystagmus nach Rechtsdrehungen der Maschine aus zahlreicheren Schwingungen der Augen besteht, als der Nachnystagmus nach Linksdrehungen der Maschine.

Ob, wie es nach unseren Versuchen den Anschein hat, diese Erscheinung nach Verletzung der Hinterhauptlappen leichter eintritt als nach Verletzung der vorderen Partien des Grossbirns, wollen wir einstweilen unentschieden lassen.

II.

Wenn nach Verletzung des Grosshirns die compensatorischen Bewegungen eines Thieres eine Abschwächung erfahren, so kann das nur darauf beruhen, dass auf dem Wege vom inneren Ohr über Acusticus, Nacken- und Rückenmark zu den Muskeln eine Veränderung eintritt, die wir einstweilen wohl als eine Veränderung der Erregbarkeit der betreffenden Theile bezeichnen können. Damit findet eine Theorie von Goltz bis zu einem gewissen Grade eine Bestätigung, dass nämlich durch Verletzung des Grosshirns „die Erregbarkeit der niederen Centren des Rückenmarkes herabgesetzt wird." In diesem letzteren Umstand — und nicht in etwaigen „psychischen" Umständen, wie in einem angeblichen Ausfall von „Bewegungsvorstellungen" u. dergl. — würde dann auch die Ursache der Störung gewisser spontaner Bewegungen dieser Thiere zu suchen sein.

Ueber den Zustand dieser „niederen Centren" im Rückenmark können wir einstweilen nichts aussagen, dagegen fanden wir

in den Muskeln derjenigen Thiere, welche eine Abschwächung ihrer compensatorischen Bewegungen zeigten, eine Veränderung, welche zu einer Störung der compensatorischen und zugleich auch der sogenannten spontanen Bewegungen der Thiere führen muss. Bevor wir sie erwähnen, wollen wir aber nachweisen, dass in der That die von uns gefundenen Störungen der kompensatorischen Bewegungen dem Sinne nach zusammenfallen mit den Störungen der „spontanen" Bewegungen nach Verletzung des Grosshirns.

Wir haben schon oben erwähnt, dass die in der linken Hemisphäre (namentlich in den Hinterhauptlappen derselben) operirten Kaninchen bei ihren „spontanen" Bewegungen sich häufiger nach rechts als nach links umdrehen; in extremen Fällen sieht man die Thiere spontan nur Drehungen nach rechts, nie aber Drehungen nach links ausführen, obwohl sie im Stande sind ihre Wirbelsäule nach links zu krümmen. Eine kurze Ueberlegung zeigt, dass es dem Sinne nach dieselbe Störung ist, welche auch im Drehungsnystagmus nach Verletzung des Grosshirns auftritt. Bei dem in der linken Hemisphäre operirten Kaninchen prävaliren auch unter den durch die Centrifugalmaschine ausgelösten Bewegungen die nach rechts gerichteten.

Während der Linksdrehung der Unterlage muss das Thier nystactische Augenbewegungen nach rechts ausführen und diese überwiegen (wie wir uns überzeugt haben) über die während der Rechtsdrehung der Unterlage ausgelösten nystactischen Augenbewegungen nach links. Der Nachnystagmus ist von entgegengesetztem Sinne, wie der während der Drehung bestehende, und so ist die Zahl der nystactischen Nachschwingungen nach Rechtsdrehung grösser als nach Linksdrehung. — Dass aber die Störung der nystactischen Bewegungen nach Verletzung des Grosshirns nicht blos dem Sinne, sondern auch dem Grade nach mit der Störung der „spotanen" Bewegungen übereinstimme, können wir einstweilen nicht mit Sicherheit behaupten.

Bei einem in der linken Grosshirnhemisphäre operirten Hunde besteht eine Neigung, sich häufig nach links umzudrehen, also dem Sinne nach die entgegengesetzte Störung wie bei dem in der linken Hemisphäre operirten Kaninchen, das die Rechtsdrehung bei seinen spontanen Bewegungen bevorzugt. Allein auch beim Hunde stimmt das Verhalten der kompensatorischen Bewegungen mit dem Verhalten der „spontanen" Bewegungen überein. Der Hund mit

einseitig verletztem Grosshirn kompensirt gut diejenigen Bewegungen der Centrifugalmaschine, welche ihn zu Bewegungen nach der Seite seiner lädirten Hemisphäre zwingen. Wir hatten Gelegenheit uns von neuem bei zwei lange Zeit vorher von Loeb im Hinterhauptlappen operirten Hunden von der Richtigkeit des Gesagten zu überzeugen. Der eine Hund bevorzugte bei seinen „spontanen" Bewegungen Linksdrehungen, der andere Rechtsdrehungen. Der letztere kompensirte gut während der Linksdrehungen und schlechter während der Rechtsdrehungen der Maschine, der andere Hund verhielt sich umgekehrt.

Diese Uebereinstimmung im Sinne der Störung der spontanen und der durch die Centrifugalkraft ausgelösten Bewegungen beschränkt sich nicht blos auf die Wirbelthiere. Eine Stubenfliege, der man die im Kopfe gelegenen Ganglien einseitig, etwa links zerstört, bevorzugt bei ihren „spontanen" Bewegungen, wie das in der linken Grosshirnhemisphäre operirte Kaninchen, die Rechtsdrehung. Setzt man die Fliege auf eine um eine vertikale Axe rotirbare Unterlage, so ist sehr leicht durch Linksdrehung der Unterlage die Fliege zu kontinuirlichen Rechtsdrehungen zu zwingen, während sie durch Rechtsdrehung der Unterlage schwerer oder (in extremen Fällen) gar nicht zu kompensatorischen Bewegungen (Linksdrehungen) gezwungen werden kann[1].

Dass nun in den Muskeln solcher Thiere sich etwas geändert hat, lässt sich zeigen, wenn man die Spannung der Muskeln eines solchen Thieres prüft. Bei einem Kaninchen, welches nach Verletzung der linken Hemisphäre Störungen der spontanen und kompensatorischen Bewegungen hat, sind diejenigen Muskeln, welche eine Rechtsdrehung der Wirbelsäule bewirken, stärker gespannt als die zur gleichen Bewegung in entgegengesetzter Richtung dienenden Muskeln. Derselbe Unterschied findet sich bei den Muskeln, welche die Rollung des Kopfes um seine Längsaxe besorgen. Beim Versuch, den Kopf eines in dem linken Hinterhauptlappen operirten Kaninchens (mit Störungen der kompensatorischen Bewegungen) um die Längsaxe nach links zu rollen, fanden wir einen viel stärkeren Widerstand in den antagonistischen Muskeln, als beim Versuch, den Kopf nach rechts zu rollen. Die-

1) Loeb, Der Heliotropismus der Thiere und seine Uebereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen. Würzburg 1890. S. 117.

ser Unterschied in der Spannung der links- und rechtsseitigen Muskeln führte, wenn er einen höheren Grad erreichte, zu einer abnormen Kopfhaltung, nämlich zu einer Rollung des Kopfes um die Längsaxe nach rechts. Bei dem in der linken Hemisphäre operirten Hunde sind die Linkswender resp. Linksroller stärker gespannt. Das Auge eignet sich nicht dazu, um in dieser Weise Unterschiede der Spannung seiner Muskeln nachzuweisen. Allein bei Hunden, welche eine schwerere Verletzung der linken Hemisphäre, insbesondere der Hinterhauptlappen erlitten haben, besteht eine Neigung, den Blick nach links zu richten. Auch an den Extremitäten bestehen derartige Veränderungen im Zustand der Muskeln[1]). Nun hat Ewald inzwischen — unsere Versuche sind im Sommer 1889 angestellt — mitgetheilt, dass nach Exstirpation des inneren Ohres Aenderungen in der Function der Muskeln eintreten, welche, wie es scheint, ähnlicher Art sind, wie die nach Verletzung des Grosshirns auftretenden[2]).

Die von uns gefundene Störung der kompensatorischen Bewegungen nach Verletzung des Grosshirns beruht also entweder darauf, dass durch Verletzung des Grosshirns weitere Veränderungen im Thier stattfinden, welche in der Spannungsabnahme der ruhenden und der geringeren Arbeitsleistung des thätigen Muskels zum Ausdruck gelangen; oder dass die Verletzung des Grosshirns die Erregbarkeit des inneren Ohres herabsetzt und dadurch indirect die eben erwähnten Aenderungen im Zustand der Muskeln herbeiführt; oder dass beide Prozesse gleichzeitig in gleichem oder verschiedenem Grade zusammenwirken.

Genau dieselben Umstände müssen aber auch die nach Grosshirnverletzungen auftretenden Störungen der „spontanen" Bewegungen bestimmen.

---

1) Loeb, Beiträge zur Physiologie des Grosshirns. Pflüger's Archiv Bd. 39 S. 285 u. ff.

2) J. Rich. Ewald, Ueber motorische Störungen nach Verletzung der Bogengänge. Centralblatt für d. medizin. Wiss. 1890. No. 7 u. 8.

(Aus dem physiologischen Institut in Innsbruck.)

Physiologische Analyse eines ungewöhnlichen Falles partieller Farbenblindheit (Trichromasie des Spectrums).

Von

M. v. Vintschgau.

I.

Einleitung.

Die Fälle von Blaugelbblindheit (Akyanopsie, Axanthopsie, Violettblindheit etc.)[1]) sind bekanntlich sehr selten, und die wenigen in der Literatur angeführten Schilderungen dieser Anomalie sind in manchen Richtungen mangelhaft, wesshalb man sogar das Vorkommen derselben als unbestimmt hingestellt hat (Hering)[2]).

Ein glücklicher Zufall führte mir einen jungen Mediciner (On.) zu, der nach einer vorläufigen Untersuchung unter die Blaugelbblinden hätte gezählt werden sollen, während die genaue Untersuchung, wie folgende Seiten beweisen werden, ergab, dass der junge Mann, dessen beide Augen sich, nach einer von Dr. Sachs vorgenommenen Untersuchung, in Bezug auf ophthalmoskopischen Befund und Sehschärfe vollkommen normal verhalten, weder

1) L. Mauthner (Ueber farbige Schatten, Farbenproben und erworbene Erythrochloropie. Wiener med. Wochenschrift 1881 N. 38 u. 39. Separatabdruck) nennt die Blaugelbblinden „Rothgrünsichtige" (Erythrochlorope).

2) E. Hering, Zur Erklärung der Farbenblindheit aus der Theorie der Gegenfarben. Separatabdruck aus dem Jahrbuch für Naturwissenschaften „Lotos". N. F. I. Bd. Prag 1880 S. 14.

In „Zur Diagnostik der Farbenblindheit", Gräfe's Archiv für Ophthalm. 36. Bd. Abth. I in der Note S. 220, schreibt Hering: „Dass es eine Blaugelb„blindheit geben sollte bei ungestörter Beschaffenheit der übrigen Qualitäten „der Lichtempfindung ist mir aus verschiedenen Gründen unwahrscheinlich; „ich habe es auch nie behauptet."

Blau noch Violett sieht, dass er weiter für Gelb und Grün eine etwas verminderte, für Roth eine beinahe normale Empfindlichkeit hat; daher bezeichne ich diesen Fall kurzweg mit dem Namen Blau-Violett-Blindheit.

Es ist mir wohl klar, dass die gewählte Bezeichnung dem Leser dieser Schrift wahrscheinlich, wie mir selbst, etwas bedenklich vorkommen dürfte; es war aber nicht möglich eine andere hinreichend passende Bezeichnung zu finden, da, wie die Untersuchung lehrte, die Spectralproben und die Farbengleichungen die gewählte Bezeichnung rechtfertigen, andere Untersuchungen dagegen, wie vorzugsweise jene mit der Wollprobe und jene mit dem simultanen Contrast den Zweifel als berechtigt erscheinen lassen, dass es sich vielleicht nicht um eine totale Blau-Violett-Blindheit handelt.

Der Einfachheit wegen werde ich jedoch die gewählte Bezeichnung behalten, da der vorliegende Fall gewiss weder zu jenen von totaler Farbenblindheit, noch zu jenen von Farbenschwäche gehört und nach allen vorgenommenen Proben nichts anders übrig bleibt, als diesen Fall in jene noch sehr wenig untersuchte Klasse von Farbenblinden einzureihen, die man kurzweg als Gelbblaublinde bezeichnet, aus deren genauer Untersuchung mit gleichzeitiger Berücksichtigung der an Rothgrünblinden erhaltenen Resultate wahrscheinlich werthvolle Aufschlüsse über die Wahrnehmung der Farben bei Farbentüchtigen zu gewinnen wären.

Ausserdem bot sich mir Gelegenheit, einen anderen Mediziner (Mes.) zu untersuchen, der weder Roth noch Grün erkennt, und für welchen ich den Namen Roth-Grün-Blind gebrauche, ohne mich mit dieser Bezeichnung für die eine oder die andere von den zwei gegenwärtig herrschenden Theorien über Farbenempfindung auszusprechen.

Eingehendere und zahlreichere Untersuchungen habe ich an On. vorgenommen. Die Beobachtungen an Mes. sollten nur dazu dienen, um die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Fällen noch deutlicher hervortreten zu lassen.

Schon vom Beginn dieser Untersuchung an stand in mir der Entschluss fest, mich bei derselben von keiner der bestehenden Theorien leiten zu lassen.

Ich untersuchte vorzugsweise On. mit allen zur Zeit im hiesigen physiologischen Institute vorhandenen und weiters leichter zu

beschaffenden Mitteln in streng objectiver Weise, und um jede subjective Auffassung der von den beiden Farbenblinden gemachten Angaben auszuschliessen, verglich ich diese nicht mit meinen Wahrnehmungen, sondern in allen Fällen, in welchen es nur thunlich war, mit jenen von anderen Farbentüchtigen.

Die Untersuchten nahmen ihre Beobachtungen mit beiden Augen gleichzeitig vor und nur bei den spektroskopischen Untersuchungen bedienten sie sich meistens des rechten Auges.

Um dem Leser die Beurtheilung des Falles zu erleichtern, entschloss ich mich, fast alle Versuchsprotocolle in Tabellenform zu veröffentlichen, obwohl dadurch die Abhandlung etwas länger ausfiel; man wird es mir aber in Anbetracht der Seltenheit des Falles wohl verzeihen.

Ich werde mich jedoch enthalten, aus diesem bis jetzt einzigen Fall von Blauviolettblindheit irgend welche theoretische Schlussfolgerung zu ziehen. Der Grund hierfür ist vorzugsweise die Ueberlegung, dass Beobachtungen an Farbenblinden erst dann für eine Theorie der Farbenwahrnehmung verwerthet werden dürfen, wenn die Zahl der nach jeder Richtung hin untersuchten Fälle eine hinreichend grosse ist, um die einzelnen Verschiedenheiten überblicken zu können. Nach meiner Ueberzeugung müssen die Anomalien in der Farbenwahrnehmung ebenso ein gewichtiges Wort in der Beurtheilung der hierher gehörigen physiologischen Theorien sprechen, wie es andere Anomalien und verschiedenartige Erkrankungen bei anderen physiologischen Fragen thun.

Physiologie und, um es mit zwei Worten auszudrücken, klinische Beobachtung müssen in vollem Einklang sein; fehlt derselbe, dann sind Lücken vorhanden, welche auszufüllen die Aufgabe beider ist.

Bei der Anführung der einschlägigen Literatur endlich werde ich mich streng an die Terminologie der einzelnen Verfasser halten.

Bevor ich auf meinen Gegenstand übergehe, fühle ich mich verpflichtet der Herren zu gedenken, die mir bei dieser Untersuchung behilflich waren.

Meinen ersten und verbindlichsten Dank statte ich dem H. On. ab, welcher sich mit seltener Ausdauer und Geduld der viel Zeit raubenden Untersuchung unterzog. Die Gewissenhaftigkeit, mit welcher er die Beobachtungen machte, trug am meisten bei

zur Erlangung der Resultate, die, wie ich hoffe, nicht werthlos sein werden.

Gleichfalls muss ich H. Dr. Theodor Sachs, Privatdocenten der Augenheilkunde an der hiesigen medizinischen Fakultät, dankbar erwähnen. Derselbe arbeitet im hiesigen physiologischen Institut und ich hatte somit öfters Gelegenheit mit ihm über Farbenblindheit Rücksprache zu nehmen, und verdanke ihm manche praktische Winke, wie auch die Controlle einiger Beobachtungen.

Endlich gedenke ich der Herren Posselt, Stainer und Mes., von welchen die beiden ersten die Angaben der Farbenblinden mit ihren (normalen) Empfindungen verglichen, während der letztere sich einer eingehenden Prüfung seiner Farbenblindheit unterwarf.

II.

Literatur.

Es wäre mir sehr erwünscht gewesen, wenn ich eine Zusammenstellung der bis jetzt bekannten Fälle von Blaugelbblindheit hätte geben können, was ich aber aus zwei Gründen unterlassen musste.

Die sehr umfangreiche Literatur über Farbenblindheit ist mir nämlich nur in beschränktem Maasse zugänglich und es hätten daher auch meine Angaben nur fragmentarisch ausfallen können. Der weitere Grund war, dass sehr wahrscheinlich alle Fälle dieser Anomalie, welche vor dem Jahre 1875, wie auch mehrere jener Fälle, die in den letzten 15 Jahren bekannt wurden, nicht der Art untersucht wurden, um dieselben für die Physiologie der Farbenwahrnehmung verwerthen zu können. Ich begnüge mich daher an dieser Stelle mit der Anführung jener Forscher, welche mehr oder weniger ausführliche Mittheilungen über ihre Untersuchungen von Gelbblaublindheit machten.

Die Reihe dieser Mittheilungen eröffnete in den Jahren 1875 und 1876 J. Stilling[1]), welcher in seinen Beiträgen zur Lehre von den Farbenempfindungen die Ergebnisse der Untersuchung

---

1) J. Stilling, Beiträge zur Lehre von den Farbenempfindungen. Ausserordentliches Beilageheft zu den klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde. XIII. u. XIV. Jahrgang. Stuttgart 1875 u. 1876.

von sieben Fällen von Gelbblaublindheit veröffentlichte und im Jahre 1878[1]) eine kurze Mittheilung über die spectroskopische Untersuchung eines neuen Falles von Gelbblaublindheit folgen liess.

Das Jahr 1878 brachte die Dissertation von F. Minder[2]) und die vorläufigen Mittheilungen von Cohn[3]) und Magnus[4]), welch' letztere[5])[6]) nachher eine ausführliche Schilderung ihrer Untersuchungen veröffentlichten.

Carl[7]) beobachtete im Jahre 1879 einen Fall von Gelbblaublindheit; da aber seine Untersuchung nicht so ausführlich wie jene der zuletzt erwähnten Autoren ist und er selbst sagt: „ob hier ein reiner Fall von Blaugelbblindheit vorlag, wage ich nicht zu entscheiden", so genüge hier die blosse Erwähnung dieses Autors.

Holmgren, der für die Untersuchung von Farbenblinden sich hohe Verdienste erwarb und welcher im Jahre 1878[8]) nur zwei Fälle von Violettblindheit und zwar nicht einmal diese voll-

---

1) J. Stilling, Blaugelbblindheit mit unverkürztem Spectrum. Centr.-Blatt f. pr. Augenheilkunde. 2. Jahrg. 1878 S. 99.

2) F. Minder, Beiträge zur Lehre von der Farbenblindheit. Dissert. Bern 1878.

3) H. Cohn, Bericht über die Sitzungen der Heidelberger ophthalm. Gesellschaft im J. 1878 S. XXIX. Beilage zum Augusthefte des Centr.-Bl. f. pr. Augenheilkunde. II. Jahrg. 1878. — H. Cohn, Ueber angeborene und erworbene Blaugelbblindheit. 57. Jahresbericht der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur. Breslau 1880. Sitzung vom 28. Febr. 1879 S. 13.

4) H. Magnus, Untersuchung von 5489 Breslauer Schülern und Schülerinnen auf Farbenblindheit. Breslauer ärztliche Zeitschrift. I. Jahrg. 1879. Nr. 2 S. 13.

5) H. Cohn, Studien über angeborene Farbenblindheit. Breslau 1879.

6) H. Magnus, Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Farbenblindheit, Gräfe's Archiv für Ophthalm. 24. Bd. Abth. IV. 1878 S. 171.

7) Dr. Carl, Ein Beitrag zur Statistik der Farbenblindheit. Centr.-Bl. f. pr. Augenheilkunde. 3. Jahrg. 1879 S. 360.

8) F. Holmgren, Ueber die Farbenblindheit in Schweden. Vorläufige Mittheilung. Centr.-Blatt f. pr. Augenheilkunde. 2. Jahrg. 1878 S. 201. — F. Holmgren, Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und der Marine. Leipzig 1878.

ständig typisch fand, theilte in den Jahren 1880 und 1881 [1]) die Resultate der Untersuchung an zwei Violettblinden mit.

Donders[2]) veröffentlichte im Jahre 1880 einige bei der Untersuchung eines Violettblinden erhaltene Resultate. Vier Jahre später (1884) erwähnt Donders[3]) ebenfalls die Ergebnisse seiner Untersuchung eines Violettblinden. In beiden Mittheilungen handelt es sich höchst wahrscheinlich um denselben Fall, da Donders im Jahre 1884 schrieb: „in dem von mir untersuchten Falle“ und die Angaben besonders über das Sortiren von blauen und violetten Wollenbündel fast wörtlich übereinstimmen.

Das Jahr 1882 brachte die Abhandlung von Dr. Richard Hilbert[4]) und die Dissertation von G. Hermann[5]). In beiden Veröffentlichungen findet sich eine ausführliche Schilderung der Untersuchungsergebnisse von je einem Gelbblaublinden.

v. Reuss[6]) veröffentlichte im Jahre 1883 die Resultate seiner Untersuchung von Eisenbahnbediensteten auf Farbensinn. Verfasser erwähnt 7 Fälle, die er wohl unter der Rubrik „Blaugelbblindheit“ aufführt, aber selbst hinzufügt: „in diese Kategorie gehörige ausgeprägte Fälle habe ich nicht gefunden, ich möchte sogar keinen der Fälle als unvollständig blaugelbblind bezeichnen, und habe sie alle unter „schwachen Farbensinn“ aufgeführt.“

Ob in den letzten Jahren weitere Beobachtungen an Blaugelbblinden mitgetheilt worden sind, konnte ich aus den mir zur Verfügung stehenden Zeitschriften und Jahresberichten nicht entnehmen.

---

1) F. Holmgren, Ueber die subjective Farbenempfindung der Farbenblinden. Med. Centr.-Bl. 18. Jahrg. 1880 S. 898 u. 913. — Centr.-Bl. f. pr. Augenheilkunde. V. Jahrg. 1881 S. 476.

2) Donders, Remarques sur les couleurs et la cécité des couleurs. Annales d'oculistique. T. LXXXIV. — 12. S. T. 4. 1880 S. 212.

3) F. C. Donders, Noch einmal die Farbensysteme, Gräfe's Archiv f. Ophthalm. 30. Jahrg. I. Abth. S. 82—84.

4) R. Hilbert, Das Verhalten der Farbenblinden gegenüber den Erscheinungen der Fluorescenz. Königsberg 1882.

5) G. Hermann, Ein Beitrag zur Casuistik d. Farbenblindheit. Inaug.-Dissert. Dorpat 1882.

6) A. v. Reuss, Untersuchung der Augen von Eisenbahn-Bediensteten auf Farbensinn und Refraction. Gräfe's Archiv f. Ophthalm. 29. Jahrg. II. Abth. S. 229.

Auf die speciellen Ergebnisse der einzelnen oben angeführten Forscher werde ich im Verlaufe dieser Schrift häufig zurückkommen.

III.

Spectraluntersuchung

1) des Blau-Violett-Blinden.

Zu den Spectraluntersuchungen wurde ein in physiologischen und chemischen Instituten gewöhnlich gebrauchter Spectralapparat von Steinheil in München verwendet, an dem noch nachträglich unmittelbar vor der Ocularlinse des Fernrohres zwei coulissenartig bewegliche Schieber nach Vierordt's Angabe angebracht wurden, um einzelne Theile des Spectrums isoliren zu können.

Von den Beobachtungen, die theils mit Gas-, theils mit Tageslicht gemacht wurden, sollen nun zuerst die im verfinsterten Zimmer mit Gaslicht vorgenommenen besprochen werden.

Es handelte sich vor Allem zu erfahren, wie On. die einzelnen Farben des Gasspectrums benennt.

Zu diesem Zweck werden die beiden Schieber so gestellt, dass die Breite der Spalte ungefähr der Entfernung zweier Theilstriche der Scala von einander gleichkam; die scheinbare Grösse betrug ungefähr 2 mm; falls nicht ausdrücklich etwas anderes erwähnt wird, ist bei allen Versuchen diese Breite zu verstehen.

Die Spalte wird nun der Reihe nach ohne Wissen On.'s auf jene Farben eingestellt, welche in der ersten Columne der folgenden Tab. I und II angegeben sind.

Tabelle I.

Die Ocularspalte wird eingestellt auf:	On. gab folgende Farben an:
Roth.	Roth.
Roth-Orange.	Roth.
Orange.	Weisslichroth,
Gelb.	Gelb.
Gelbgrün.	Gelb, blässer als das frühere.
Grün.	Grün.
Dunkelgrün.	Grün.
Blaugrün.	Grün, gesättigter als vorher.
Blau.	?

Anmerkung. Bis Blaugrün bezeichnete On. die Farben sehr rasch. Als Blau eingestellt wurde, betrachtete er ziemlich lange und schliesslich sagte er: er sei nicht im Stande, die Farbe zu bezeichnen. Genau dieselbe Angabe machte On. bei Einstellung der Spalte auf Indigoblau und Blauviolett. On. bezeichnete bei Gasbeleuchtung ein hellblaues Wollbündel als das ähnlichste mit dem eingestellten spectralen Blau. Dr. S. findet auch, dass dieses Bündel die grösste Aehnlichkeit hat; V. dagegen wählte ein etwas dunkleres Blau.

Tabelle II.

Die Ocularspalte wird eingestellt auf:	Der Untersuchte gab folgende Farbe an:
Grün.	Grün.
Violett.	Ich kenne die Farbe nicht, sie ist nicht grau.
Orange.	Roth.
Gelb.	Gelb.
Roth.	Roth.
Gelb.	Gelb.
Orange.	Roth.
Roth.	Roth, gesättigter als vorher.
Blaugrün.	Grün.
Blau.	Ich kenne die Farbe nicht, sie ist nicht grau.

Das erste Mal, wie aus den Angaben in Tab. I ersichtlich, wird das Fernrohr von Roth gegen das Violettende bewegt; das zweite Mal (Tab. II) dagegen wird die Spalte auf eine beliebige Farbe ohne irgend eine Ordnung eingestellt, um On. jeden möglichen Anhaltspunkt zu nehmen.

Aus beiden Versuchen ergeben sich ganz gleiche Resultate, indem nämlich On. vom Beginn des Blau an die Farben nicht kennt; in der Angabe der übrigen macht er keinen nennenswerthen Fehler; die kleine Ungenauigkeit beim Orange hat gewiss keine Bedeutung, und dass On. Blaugrün als Grün bezeichnet, beweist nur seine Unfähigkeit Blau zu sehen.

Die eben geschilderten Versuche wurden in den ersten Wochen dieser Untersuchung vorgenommen, nachher kamen abwechselnd in verschiedenen Zwischenzeiten die Herstellung der Farbengleichungen, das Aussuchen der farbigen Wollbündel, die Spiegel- und Schattenversuche etc., womit On. Gelegenheit genug hatte sich mit den Farben vertraut zu machen.

Nach Ablauf von ungefähr drei Monaten wurde noch einmal der Versuch mit dem Spectralapparat wiederholt mit der Modification jedoch, dass die Ocularspalte dem äussersten Roth gegenüber gestellt wird und On. die Aufgabe hat, das Fernrohr langsam gegen das Violettende zu drehen und bei jedesmaligem Erscheinen einer neuen Farbennuance oder einer neuen Farbe dieselbe zu benennen. Die Angaben On.'s sind in folgender Tabelle III a enthalten.

Tabelle IIIa.

Roth, intensiv roth, intensiveres roth, noch intensiveres roth; gelbröthlich, weisslich-gelbröthlich, gelb, weisslich-gelb-grünlich, dunkles gelbgrünlich, weisslichgrün, grün, intensives grün, noch intensiveres grün, schmutzig grün, leicht grau.

Als On. grau angab, befand sich der linke Rand der Spalte bei $\lambda = 0{,}499\ \mu$.

Nun musste On. das Fernrohr in entgegengesetzter Richtung bewegen und die Farben ebenfalls bezeichnen; seine Angaben sind in folgender Tab. IIIb mitgetheilt.

Tabelle IIIb.

Grau, schmutzig grün, dunkelgrün, weisslichgrün, gelbgrünlich, gelb, röthlichgelb, dunkleres röthlichgelb, dunkelroth, roth weniger intensiv, roth noch weniger intensiv, röthlich.

Bei der Angabe „Röthlich" befand sich die Spalte vor jenem Roth, das man nur bei Abblendung des ganzen übrigen Spectrums sieht.

Ich liess die rothe Kaliumlinie erscheinen, diese wurde von On. erkannt und als nicht schön roth bezeichnet.

Diese Beobachtungen zeigen, dass für On. das Spectrum gewiss schon bei der rothen Kaliumlinie beginnt, und dass er, mit Ausnahme von Orange, das ihm stets als gelbröthlich erschien, alle übrigen Farben bis zum Beginn des Blau genau bezeichnet; nirgends ist auch nur die leiseste Andeutung einer Unterbrechung (*T*, Trennungslinie) oder der Gegenwart einer neutralen Zone (*N*, neutrale Stelle) bemerkbar.

Da die neutrale Zone bei Gelbblaublinden gefunden wurde (vergl. später S. 451) so war der Verdacht berechtigt, dass On. etwa die neutrale Stelle übersprungen hätte, daher erachtete ich es als

nothwendig, nach Ablauf von einigen Wochen noch einmal eine ähnliche Beobachtung zu machen.

Ohne Wissen On.'s wird der linke Rand der Ocularspalte nacheinander eingestellt auf:

$\lambda = 0,5$[illegible] μ seine Angabe lautete gelb.
$\lambda = 0,5$[illegible] μ " " " gelbgrünlich.
$\lambda = 0,5$[illegible] μ " " " gelbgrünlich.

Ich stelle die Spalte vor $\lambda = 0,493\ \mu$ Blau und On. muss noch einmal das Fernrohr gegen das Rothende bewegen und die Farben benennen: als er mir die Farbe als lichtröthlich bezeichnete, forderte ich ihn auf, das Fernrohr gegen das Violettende zu bewegen und ebenfalls die Farben zu bezeichnen.

Beide Male stimmten seine gegenwärtigen Angaben mit den früheren überein und auch diessmal konnte eine neutrale Zone nicht entdeckt werden.

Die Verkürzung des Spectrums gegen das Violettende ist beträchtlich; On. nennt Blau und Violett grau oder auch schmutzig weiss.

Ich versuchte nun diese Grenze des farbigen Spectrums etwas genauer zu bestimmen.

Bei der ersten Beobachtung fand ich diese Grenze zwischen $\lambda = 0,487\ \mu$ und $\lambda = 0,486\ \mu$.

Das zweite Mal zwischen $\lambda = 0,492\ \mu$ und $\lambda = 0,490\ \mu$.

Das dritte Mal waren die Angaben On.'s folgende:

$\lambda = 0,497\ \mu$ schmutzig grün.
$\lambda = 0,496\ \mu$ hellgrau mit schwacher grünlicher Färbung.
$\lambda = 0,494\ \mu$ ebenso, die grünliche Färbung noch schwächer.
$\lambda = 0,493\ \mu$ grau ohne Färbung.

Das vierte Mal endlich:

$\lambda = 0,511\ \mu$ graugrünlich.
$\lambda = 0,506\ \mu$ ebenso.
$\lambda = 0,501\ \mu$ ebenso.
$\lambda = 0,499\ \mu$ grau.
$\lambda = 0,497\ \mu$ grau.

Aus diesen Beobachtungen lässt sich entnehmen, dass es ziemlich schwer ist die bestimmte Grenze zu finden, da die Empfindung des Grünen nur allmählich in Grau übergeht; man kann aber bei Vernachlässigung der extremen Zahlen im allgemeinen die Grenze des farbigen Spectrums zwischen $\lambda = 0,493$ und $\lambda = 0,490\ \mu$ verlegen, somit etwas vor der Spectrallinie F.

Nach C. Hess[1]) hat das unveränderliche Grün für ihn sehr nahe die Wellenlänge von $\lambda = 0{,}495\ \mu$, und in der übergrossen Mehrzahl der Bestimmungen lag dasselbe zwischen $\lambda = 0{,}497$ und $\lambda = 0{,}494\ \mu$ (S. 20). Das Spectrum von On. reicht somit nur sehr wenig über die Grenzen des unveränderlichen Grün von C. Hess. Daraus lässt sich aber vorläufig kein Schluss ziehen, da die Grenzen des Spectrums von Gelbblaublinden gegen das Violettende sehr verschieden sind, wie die später (S. 452 u. f.) mitzutheilenden Angaben der anderen Beobachter zeigen werden.

Es wird endlich die hellste Stelle ermittelt. On., welcher sein ganzes Spectrum übersehen konnte, bezeichnete die Gegend zwischen $\lambda = 0{,}565\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}558\ \mu$, nämlich zwischen den Linien *D* und *E* als die hellste.

Es werden weiter einige Versuche auch mit den Metalllinien vorgenommen, und die Angaben von On. und Mes. sind in folgender Tab. IV zusammengestellt.

Tabelle IV.

Die äussersten rothen Rubidiumlinien.

On.: nicht geprüft.

Mes.: benennt diese Linien blassgelb.

Der Sicherheit wegen lasse ich Mes. die Lage der Linien an der schwach beleuchteten Scala bestimmen; seine Angabe ist vollkommen richtig.

Rothe Kaliumlinie allein.

On.: nicht schön roth.

Mes.: breiter Streifen, kaum sichtbares dunkles Grau.

Rothe Kaliumlinie und Natriumlinie gleichzeitig.

On.: nicht schön roth, gelb mit zweifelhafter röthlicher Färbung oder gelb mit etwas grau.

Mes.: breiter Streifen sehr dunkel gelblichgrau, schmaler Streifen intensiv gelb.

Da die Angaben Mes.'s mich nicht befriedigten, so habe ich ihm später noch einmal die Kaliumlinie gezeigt. Seine Angaben waren nun: dunkles, gesättigtes schönes Gelb, und auch die Lage der Linie an der Scala wurde von ihm richtig bestimmt.

Grüne Thalliumlinie allein.

On.: Grün.

Mes.: blass lichtgelb.

1) C. Hess, Ueber den Farbensinn bei indirectem Sehen. Gräfe's Archiv f. Ophthalm. 35. Bd. Abth. 4 S. 19.

Natriumlinie und grüne Thalliumlinie.

On.: linker Streifen röthlich, rechter grün.

Mes.: linker Streifen dunkel schmutzig gelb, rechter intensiv lichtgelb.

Rothe Lithiumlinie und Natriumlinie.

On.: links deutlich roth, rechts schmutzig gelb.

Mes.: links sehr dunkel gesättigtgelb, rechts lichtgelb.

Lithium-, Natrium- und Thalliumlinie.

On.: links roth, Mitte entweder röthlichgelb oder schmutziggelb, rechts grünlich.

Mes.: links sehr dunkelgelb, Mitte gelb, rechts lichtgelb blass.

Die Gasflamme mit den drei Metallen: Lithium, Natrium und Thallium.

On.: Flamme roth, schmutzig gelb und grün.

Mes.: Flamme gelb und bläulich weiss.

Rothe und grüne Calciumlinie.

On. bezeichnet die rothe Calciumlinie genau als roth, die grüne als grau, wobei aber zu bemerken ist, dass diese grüne Linie nicht vollkommen rein erschien; erst bei wiederholten Beobachtungen wurde dieselbe als grünlich benannt.

Mes.: beide gelb.

Blaue Strontiumlinie.

On.: grau, doch weniger dunkler als die Indiumlinie.

Mes.: schmutzig blau.

Indiumlinie.

On.: dunkelgrau, glänzend.

Mes.: sehr gesättigtes, kräftiges, reines blau.

Die rothe Kalium-, Lithium- und Calciumlinie wird von On. immer als roth bezeichnet.

Die Natriumlinie wird wohl als gelb, niemals aber als vollkommen reines Gelb benannt.

Die Thalliumlinie immer als grün; die grüne Calciumlinie nur schwer als solche erkannt.

Die blaue Strontium- und die Indiumlinie werden als grau bezeichnet.

Für die Lithium-, Natrium- und Thalliumlinie begnügte ich mich nicht mit der mündlichen Angabe der Farben; ich liess On. die entsprechenden Wollbündel aussuchen.

Zu diesem Zweck war das Zimmer nicht verfinstert, und wurde nur ein schwarzer Schirm zwischen der Gasflamme und einem Fenster aufgestellt, um das Tageslicht sowohl von der Spectralspalte, wie auch vom Auge des Beobachters abzuhalten.

Die Wollbündel lagen neben On. in vollem Tageslicht. Die Versuchsresultate habe ich in Tab. V angeführt.

Tabelle V.

Lithiumlinie.

Ausgesucht 10 Bündel: davon 2 dunkelroth (purpurähnlich), 2 roth, 1 dunkelrosa, 4 hellrosa in verschiedenen Nüancirungen, 1 hellrosa mit Stich ins Violett.

Natriumlinie.

Ausgesucht: 9 mit der Farbe der Linie ähnliche Wollenbündel, von jener nach On. sich nur durch verschiedene Helligkeit unterscheidend; von diesen 9 Wollbündeln sind: 2 hellgelb (ein als Muster Tab. XXXIX Nr. VI), 1 deutlich gelb (Muster Tab. XXXIX Nr. IX), 1 gelborange (Muster Nr. II Tab. XXXIX), 1 graugelblich, 2 hellgraugelblich, 2 hellbraungelblich.

Thalliumlinie.

Ausgesucht: 6 Bündel, davon 1 grün, 1 grün mit einer Spur von gelb, diese zwei werden von On. als die ähnlichsten bezeichnet; 1 sehr hellgrün, 1 gelbgrünlich, 1 hellgelblich grün, 1 hellblau.

Die für Roth ausgesuchten Bündel besitzen einen rothen Ton; dass On. auch Rosa und Rosa mit einem Stich ins Violett dazugab, deutet blos darauf hin, dass er Violett nicht sieht.

Alle für Gelb ausgesuchten Bündel bewegten sich in gelben Nüancen, nur zwei davon haben einen Stich ins hellgelbbraune; wir finden aber gar kein rein graues oder graues mit irgend einer anderen Farbe.

Die für die grüne Thalliumlinie ausgesuchten Wollbündel haben meistens eine grüne Färbung; nur ein Bündel allein ist hellblau. Letzte Verwechselung stimmt mit den Angaben am Farbenkreisel (vergl. S. 494).

Wie ich oben erwähnte, machte ich auch einige Versuche mit dem Sonnenspectrum.

Es war mir aus localen Verhältnissen nicht möglich, ein objectives Spectrum zu entwerfen, noch die Spectralspalte mit den von einem Heliostaten reflectirten Sonnenstrahlen zu beleuchten. Ich liess daher die Sonnenstrahlen auf ein Blatt Barytpapier fallen, richtete die Spectralspalte gegen diese weisse Fläche und hielt mittelst eines schwarzen Schirmes das reflectirte Licht vom Auge des Beobachters ab.

Die Ocularspalte wird einer Stelle vor dem äussersten Roth

gegenüber eingestellt, so dass ich kein Roth mehr erkennen konnte und On. hat auch diessmal die Aufgabe, das Fernrohr langsam gegen das Violettende zu bewegen und die in der Ocularspalte erscheinenden Farben zu benennen. In folgender Tab. VI habe ich seine Angaben angeführt.

Tabelle VI.

Grau, roth, dunkleres roth, weissliches roth, noch weisslicheres roth, rosa, gelbröthlich, schmutziggelb, weisslichgelb, gelbgrünlich, weisslichgrünlich, etwas dunkleres grün, dunkelgrün, noch dunkleres grün mit zweifelhaftem grau, sehr dunkelgrün mit grau, grau.

Als On. grau sagte, lag der linke Rand der Ocularspalte bei $\lambda = 0{,}491\ \mu$. Die gegenwärtigen Angaben On.'s stimmen mit den am Gasspectrum gemachten gut überein, man findet wenigstens keinen wesentlichen Unterschied, auch diesmal ist kein Sprung zu bemerken.

Sein Graugelb befindet sich bei der *D*-Linie; als ich nämlich ohne sein Wissen diese Linie in der Mitte der Ocularspalte einstellte, sagte er augenblicklich graugelb.

Eine neutrale Linie, welche das Roth vom Grün scheidet, konnte ich auch bei Anwendung des Sonnenspectrums nicht finden. Es wurden On. folgende Stellen des Spectrums gezeigt.

$\lambda = 0{,}598\ \mu$	Angabe:	röthlichgelblich.
$\lambda = 0{,}592\ \mu$	„	schmutziggelb.
$\lambda = 0{,}589\ \mu$	„	einmal röthlichgelb, ein anderesmal nicht reines gelb.
$\lambda = 0{,}585\ \mu$	„	schmutziggelb.
$\lambda = 0{,}581\ \mu$	„	ebenso.
$\lambda = 0{,}578\ \mu$	„	grünlichgelb.

Mit Ausnahme, dass On. das Gelb als schmutzig benennt, findet man in dieser Gegend des Spectrums keine Unterbrechung.

Ich bestimmte weiter die Grenze, bei welcher sein Spectrum aufhört.

Es wird die Thalliumlinie im Tageslichtspectrum erzeugt; On. erkennt diese Linie augenblicklich als grün und sagt, dass nach derselben noch eine Strecke des Spectrum's grün erscheint.

Als ich die Mitte der Ocularspalte vor die Linie *F* einstellte, nannte On. die Farbe dunkelgrau.

Der linke Rand der Ocularspalte wird genau gegenüber der Linie F gestellt, der rechte Schieber entfernt. On. sagte: links in der Nähe des Schirmrandes sei noch etwas Grün vorhanden, nachher sei das Spectrum nicht schwarz.

Die ziemlich breite Ocularspalte wird vor Blau gestellt; On. sagt: er sehe noch es etwas hell, so als ob man durch ein angerauchtes Glas durchsehen würde.

Endlich stellte ich die Ocularspalte der Reihe nach auf

$\lambda = 0{,}489\ \mu$ Angabe: einmal dunkelgrau, ein anderes Mal grau.

$\lambda = 0{,}493\ \mu$ " " dunkelgraugrün, ein anderes Mal schmutzig dunkelgrün.

$\lambda = 0{,}491\ \mu$ " grau.

Die Grenze ist also ziemlich übereinstimmend mit der beim künstlichen Licht gefundenen.

Da der ganze Schwerpunkt dieser Untersuchung darauf beruht, ob On. Gelb sieht oder nicht, so habe ich die Spalte auf $\lambda = 0{,}581\ \mu$ eingestellt, somit auf jene Spectralgegend, die On. als graugelblich bezeichnete; er musste nun die entsprechenden Wollen aussuchen. Diese sind in folgender Tab. VIIa notirt.

Tabelle VIIa.

$\lambda = 0{,}581\ \mu$ nach On. graugelblich.

Ausgesucht 9 Bündel: 1 gelb (Muster Nr. IX in Tab. XXXIX), 1 hellgelb (Muster Nr. VI), 1 hellorange (Muster Nr. II), 1 graugelblich, 1 lichtgrünlich-gelbbraun, 1 dunkel-grünlich-gelbbraun, 3 braun in verschiedenen Nüancen.

Bei einer Wiederholung dieses Versuches beauftragte ich On., das Fernrohr sehr langsam hin und her zu bewegen, bis für ihn in der Ocularspalte das ausgesprochenste Gelb erscheine. Er suchte nun eine Stelle aus, die, wie er sich ausdrückte, nicht vollkommen rein gelb gefärbt, wohl aber die schönste war, die er finden konnte. Für mich war die ausgesuchte Farbe rein gelb; ein junger Mann, den ich die Farbe betrachten liess, nannte sie orange[1]); ein anderer bezeichnete sie als Canariengelb. Der linke Rand der Spalte befand sich bei $\lambda = 0{,}585\ \mu$.

1) Dieser junge Mann wurde von mir einige Tage vorher auf seinen Farbensinn nach der Holmgren'schen Methode geprüft. Ich fand keine Farbenanomalie, nur legte er zu einem gelben Bündel neben das entsprechende Wollenbündel auch zwei hellbraungelbliche, somit beging er dieselbe Unrichtigkeit wie On.

On. musste auch die entsprechenden Wollbündel aussuchen: diese sind in folgender Tab. VIIb angeführt.

Tabelle VIIb.

λ = 0,585 μ nach On. gelb, aber nicht vollkommen rein.

Ausgesucht 9 Bündel: 1 gelb (Muster Nr. IX in Tab. XXXIX), 1 lichtorange (Muster Nr. II), 1 graugelblich. Diese drei werden als die ähnlichsten bezeichnet. 1 hellgelb (Muster Nr. VI), 1 hellgraugelblich, 2 etwas dunkler graugelblich und 2 braun in verschiedenen Nüancen. Die letzten sechs scheinen On. weniger Aehnlichkeit zu besitzen.

Fasst man die Ergebnisse der zwei letzten Proben zusammen, so findet man, dass On. beide Male keine Fehler machte, aus welchen hervorginge, dass er Gelb als Grau oder Weiss sieht. Das erste Mal beging er dieselben kleinen Unrichtigkeiten wie beim Aussuchen der Wolle für die Na-linie; das zweite Mal waren die Unrichtigkeiten noch geringfügiger.

Wenn On. wirklich Gelbblind wäre, so hätte er gewiss das eine oder das andere Mal einen groben Fehler gemacht; es ist ja genugsam bekannt, dass Farbenblinde auch nach genauer Vorzeigung der entsprechenden Farben noch immer sehr grobe Fehler beim Aussuchen der Farben begehen.

Um mich auch über die Wahrnehmung des Grünen von Seite On.'s zu unterrichten, stellte ich die Ocularspalte vor das Grün des Sonnenspectrums (linker Rand der Spalte bei λ = 0,520 μ). On. nannte die Farbe ohne Zögern grün und suchte 5 Bündel Wolle aus, die sich alle als grün in verschiedenen Nüancen erwiesen.

Auch beim Sonnenspectrum gab On. die grösste Helligkeit desselben zwischen λ = 0,565 μ und λ = 0,558 μ an.

2. Untersuchung des Roth-Grün-Blinden mit dem Spectralapparat.

Dieselben Spectraluntersuchungen, die ich bei On. vornahm, machte ich auch bei Mes., nur dass ich von letzterem weder für die Farben des Spectrums noch für jene der Metalllinien die entsprechenden Wollen aussuchen liess.

Die Beobachtungen mit den Metalllinien habe ich schon oben S. 441 Tab. IV mitgetheilt; aus denselben geht hervor, dass Mes.

die rothen Linien von Rubidium, Kalium, Lithium und Calcium wahrnahm. Nur wäre zu bemerken, dass die Rubidium- und Kaliumlinien anfangs von ihm etwas schwer erkannt wurden; Mes. nennt alle diese Linien gelb; die Thalliumlinie wird von ihm als intensiv lichtgelb bezeichnet.

Ausserdem sieht Mes. sowohl die blaue Strontium-, als auch die violette Indiumlinie, nur nennt er die erste schmutzig blau, die letzte gesättigtes, kräftiges, reines Blau.

Das Spectrum von Mes. erscheint daher auf Grundlage der Beobachtungen an den Metalllinien weder nach dem Roth- noch nach dem Violettende wesentlich verkürzt.

Ich begnügte mich nicht mit diesen Angaben. Um weitere Auskunft über Mes.'s Spectrum zu gewinnen, habe ich ihm bei Anwendung des Sonnenspectrums (siehe oben S. 443) den Auftrag ertheilt, mir die Farben anzugeben, die nach und nach in der Spalte erscheinen, wenn das Fernrohr sehr langsam vom Roth- gegen das Violettende bewegt wird. Die von Mes. mir dictirten Angaben sind in folgender Tabelle VIII mitgetheilt.

Tabelle VIII. Mes.

Graugelb (für mich roth, linker Rand der Spalte bei $\lambda = 0{,}691\ \mu$), grau noch mehr gelb, schmutzig dunkelgelb, schmutzig lichtgelb, kräftiges dunkelgelb, intensives reines gelb, schmutziggelb, sehr schmutziggelb, dunkelgraugelb, grau (für mich grün, linker Rand der Spälte bei $\lambda = 0{,}496\ \mu$), grau mit Spuren von blau (für mich grün, linker Rand der Spalte bei $\lambda = 0{,}493\ \mu$), sehr schmutzigblau, schmutzigblau, kräftiges blau, sehr intensives dunkelblau, sehr dunkel-schmutzig-blau.

Das Spectrum beginnt schon bei $\lambda = 0{,}691\ \mu$; um mich aber zu überzeugen, dass keine Täuschung vorliege, stellte ich den linken Rand der Ocularspalte auf $\lambda = 0{,}710$ und Mes. sagte: er sehe ein dunkel-schmutziges Gelb.

Diese Beobachtungen in Verbindung mit jenen mit der Rubidium- und Kaliumlinie zeigen, dass das Spectrum von Mes. gegen das Rothende nicht verkürzt ist.

Aus den Angaben Mes.'s geht weiter hervor, dass sein Spectrum durch eine graue Zone in eine linke gelbe und eine rechte blaue Abtheilung getheilt ist.

Diese graue Zone oder Linie liegt sowohl im Sonnen- wie auch im Gasspectrum zwischen $\lambda = 0{,}497$ und $\lambda = 0{,}492\ \mu$. Schon

bei $\lambda = 0{,}498\ \mu$ wird angegeben, dass das Grau mit einer Spur Gelb und bei $\lambda = 0{,}491\ \mu$ mit einer Spur Blau erscheine.

Es sei endlich erwähnt, dass an beiden Seiten der grauen Linie die Farben nicht rein, sondern mit Grau gemischt erscheinen und erst etwas später in die reinen Farben übergehen.

Die graue (neutrale) Trennungslinie, welche bei Rothgrünblinden den gelben von dem blauen Theil des Spectrums abgrenzt, ist schon oft beobachtet worden. G. Hermann[1]) z. B. fand im Fall III diese neutrale Linie zwischen $\lambda=0{,}505\ \mu$ und $\lambda=0{,}498\ \mu$, daher etwas mehr gegen das Rothende als ich dieselbe bei Mes. fand; der Unterschied ist aber gering.

A. König[2]) bestimmte die Lage der neutralen Linie bei 13 Farbenblinden, 6 davon „waren der gewöhnlichen Terminologie nach rothblind, d. h. sie verwechselten ein lichtstarkes Roth mit einem dunklen Grün, während die übrigen Herren dunkles Roth von hellerem Grün nicht zu unterscheiden vermochten, also typisch grünblind zu bezeichnen waren.“ (S. 23.)

Das Intervall, innerhalb welchem die 13 von König erhaltenen Mittelwerthe liegen, erstreckte sich von $\lambda = 491{,}70$ bis $\lambda = 504{,}75$. Verfasser ordnete die 13 Mittelwerthe nach der Wellenlänge (S. 63) und bei der Betrachtung der so gebildeten Reihe gelangt er zu folgendem Schluss: „Es zeigt sich in diesen Zahlen auf das Unzweifelhafteste, dass die Lage des neutralen Punktes bei den verschiedenen Individuen continuirlich in einander übergeht.“ (S. 22.)

Diese Beobachtungen König's sind hier angeführt worden, um daran die Bemerkung anzuknüpfen, dass die Lage der neutralen Linie von dem Hermann'schen Roth-Grünblinden und von Mes. in dasselbe Intervall hineinfällt.

Die Trennungslinie liegt, wenn sie auch bei verschiedenen Roth-Grünblinden eine etwas abweichende Lage besitzt, doch immer

---

1) G. Hermann, Ein Beitrag etc. cit. oben S. 436.

2) A. König, Ueber den neutralen Punkt im Spectrum der Farbenblinden. Verh. der physik. Gesellschaft in Berlin, Sitzung vom 2. März 1883 S. 20, 2. Jahrg. Berlin 1884 und II. Mitth. S. 63. — Eine diese beiden Mittheilungen umfassende Abhandlung wurde in Gräfe's Archiv (Bd. 30, II. Abth. S. 155) unter dem Titel: Zur Kenntniss dichromatischer Farbensysteme, veröffentlicht.

zwischen den Fraunhofer'schen Linien *b* und *F*. (Vergl. auch Donders[1]) S. 200.)

Wie oben S. 441 angeführt, hat das unveränderliche Grün für C. Hess sehr nahe die Wellenlänge von 0,495 μ, dasselbe würde hiermit so ziemlich in der Mitte der neutralen Linie von Mes. liegen. Für den Roth-Grünblinden von Hermann würde das unveränderliche Grün von C. Hess nicht in die neutrale Linie, sondern etwas gegen das Violettende fallen.

Das unveränderliche Grün fällt überhaupt nicht immer mit der Trennungslinie der Rothgrünblinden zusammen. Um darüber mit Sicherheit etwas sagen zu können, wäre es nothwendig, die Wellenlänge des unveränderlichen Grüns für mehrere Farbentüchtige zu bestimmen.

Mes. sieht sowohl im Gas- wie auch im Sonnenspectrum zwei Stellen, die ihm heller erscheinen als die anderen Theile. Im Gasspectrum erstreckt sich die erste helle Stelle von $\lambda = 0{,}581\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}565\ \mu$, die zweite von $\lambda = 0{,}469\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}466\ \mu$. Im Sonnenspectrum erstreckt sich die erste helle Stelle $\lambda = 0{,}565\ \mu$ bis $\lambda = 0{,}558\ \mu$, die zweite von $\lambda = 0{,}477$ bis $\lambda = 0{,}473\ \mu$. In beiden Spectren ist aber die zweite etwas weniger hell als die erste.

Es wird nicht überflüssig sein, die mit dem Spectralapparat bei On. erhaltenen Ergebnisse mit jenen zu vergleichen, die bei Mes. erzielt wurden.

Die erste hellste Stelle (0,565—0,558 μ) des Sonnenspectrums von Mes. fällt genau mit der hellsten Stelle (0,565—0,558 μ) des Spectrums von On. zusammen; für das Gasspectrum ist dagegen dieses Zusammenfallen der hellsten Stellen des Spectrums der beiden Beobachter nicht vorhanden, dieselben stossen wohl an einander und zwar der Art, dass die hellste Stelle für Mes. gegen das Roth-, jene für On. gegen das Violett-Ende sich befindet.

Die zweite hellere Stelle des Mes.'schen Sonnen- und Gas-Spectrums befindet sich in jenem Theil des Spectrums, den On. nicht mehr als farbig wahrnimmt.

Die graue (neutrale) Zone ($\lambda = 0{,}497$—$0{,}492\ \mu$) des Mes.'schen Spectrums befindet sich wohl in jenem Theil des Spectrums, wel-

1) F. C. Donders, Ueber Farbensysteme. Gräfe's Archiv f. Ophthalm. 27. Bd. I. Abth. 1881.

chen On. noch als farbig erkennt, reicht aber gegen das Violett-Ende bis zu jener Grenze (λ = 0,493—0,490 μ für das Gas-λ = 0,491—0,489 μ für das Sonnen-Spectrum), bei welcher für On. das farbige Spectrum aufhört.

Endlich ist zu erwähnen, dass sowohl für On., wie auch für Mes. das Spectrum an seinem Rothende nicht verkürzt erscheint, beide Beobachter haben die Kaliumlinie als farbig gesehen.

3) Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Autoren.

Die Untersuchung von Farbenblinden mit dem Spectralapparat hat vor allen übrigen Untersuchungsmethoden den grossen Vortheil, dass die Angaben der verschiedenen Beobachter mit einander verglichen werden können, sobald die Fraunhofer'schen oder die Metall-Linien oder die Wellenlängen in jedem speciellen Falle angegeben werden. Wird diese Methode mit der Holmgren-schen Wollprobe verbunden (H. Magnus[1]) und H. Cohn)[2]), so gewinnt dieselbe eine noch erhöhte Bedeutung, da man dadurch einen wenn auch spärlichen Einblick in die Farbenwahrnehmung des Farbenblinden gewinnt.

Ein Vergleich der von verschiedenen Forschern mit dem Spectralapparat erhaltenen Ergebnisse mit jenen, die ich an On. erhielt, ist aus dem zuerst angeführten Grunde bedeutend leichter und verlässlicher als bei den übrigen Untersuchungsmethoden.

J. Stilling[3]), Holmgren[4]), Hermann[5]) berichten, dass die von ihnen untersuchten Gelbblaublinden ein nach dem rothen Ende unverkürztes Spectrum hatten.

Genau dasselbe lässt sich auch von On. mittheilen.

---

1) H. Magnus, Zur spectroskopischen Untersuchung Farbenblinder. Centr.-Blatt f. pr. Augenheilkunde. Jahrg. 1877 S. 80, 287 u. 233.

2) H. Cohn, Ueber die spectroskopische Untersuchung Farbenblinder. Centr.-Blatt f. pr. Augenheilkunde. Jahrg. 1878 S. 264, 288.

3) J. Stilling, Beiträge etc. a) Ueber die angeborene partielle Farbenblindheit. Ausserordentl. Beilageheft etc. cit. oben S. 434.

4) Holmgren, Centr.-Blatt f. pr. Augenheilkunde. V. Jahrg. 1881 S. 476. — Holmgren, Ueber die subjective Farbenempfindung der Farbenblinden. Med. Centr.-Bl. 18. Jahrg. 1880 S. 898 u. 913.

5) Hermann, Ein Beitrag etc. cit. oben S. 436.

Der Violettblinde von Donders[1]) besass ein gegen das Rothende nur wenig verkürztes Spectrum.

Holmgren, Hermann und Donders fanden, dass die Gelbblaublinden eine neutrale Linie, welche das Roth vom Grün theilte, hatten.

Der eine Violettblinde von Holmgren[2]) hatte diese „neutrale farblose („papierweisse") schmale Grenzzone „im Gelbgrün" (eine Strecke über die Fraunhofer'sche Linie *D* hinaus)", der andere[3]) ein wenig vor derselben[4]).

Hermann fand diese Linie bei seinem Violettblinden für das linke Auge zwischen $\lambda = 0{,}588\ \mu$ bis $0{,}585\ \mu$, für das rechte zwischen $\lambda = 0{,}595$ bis $\lambda = 0{,}585\ \mu$, beide Angaben auf das subjective Spectrum bezogen. Als das Spectrum objectiv entworfen wurde, fand er diese neutrale Zone zwischen $\lambda = 0{,}597$ und $\lambda = 0{,}583\ \mu$.

Donders in Annal. d'oculistique etc. (cit. ob. S. 436) schreibt: „Une bande grise très large ($^1/_8$ du spectre), à une lumière faible, sépare les deux couleurs dans le spectre. Le milieu de cette bande est au niveau du jaune." Derselbe Verfasser führt in Gräfe's Arch. (cit. ob. S. 436) folgendes an: „In dem von mir untersuchten Falle wies das Spectrum des zerstreuten Tageslichts ein breites graues Band auf, das sich über das brechbarste Gelb und das Grüngelb erstreckte. Bei stärkerer Beleuchtung wurden die Farben lebhafter und das neutrale Band schmäler."

Da Donders in dieser zweiten Abhandlung ebenso im Singular spricht wie in der ersten, so ist es, wie schon oben (S. 436) erwähnt wurde, höchst wahrscheinlich, dass es sich in beiden Mittheilungen um einen und denselben Fall handelt.

Obwohl ich die von Holmgren und Hermann bezeich-

---

1) Donders, Remarques etc. cit. oben S. 436.

2) Holmgren, Ueber die subjective etc. cit. oben S. 450.

3) Holmgren, Centr.-Blatt f. pr. Augenh. V. Jahrg. 1881.

4) W. Preyer, Zur Theorie der Farbenblindheit. Centr.-Blatt f. Med. Wiss. 1881 S. 2, schreibt: „Für Blau- oder Violettblinde hatte ich (Pflüger's Archiv 1868 S. 326, 328) den neutralen Punkt *T* (Trennungslinie) vorhergesagt. Holmgren findet ihn in der That „eine Strecke über *D* hinaus", für *D* ist $\lambda = 589{,}9$, für das reinste Gelb fand ich (Jenaische Zeitschrift f. Naturwissenschaften V. S. 376, 1870 und Chodin in meiner Sammlung physiologischer Abhandlungen. Jena I. S. 421, 1877) $\lambda = 575$, was diesem *T* entspricht."

nete Gegend des Spectrums mehrere Male und auf sehr verschiedene Arten untersuchte, gelang es mir nicht, eine neutrale Linie zu entdecken. Auch in den benachbarten Theilen des Spectrums konnte ich von einer neutralen Linie keine Spur finden.

Zwischen Roth und der ersten grauen Linie war die erste Hauptfarbe des Violettblinden Holmgren's Roth, das sich über den Theil des Spectrums, welchem Roth, Orange und Gelb des Normalsehenden entsprechen, erstreckte.

Beim Gelbblaublinden von Hermann war ebenfalls Roth die erste Hauptfarbe.

Da sich bei On. eine neutrale Linie nicht entdecken liess, so kann man in diesem Falle auch nicht von einer ersten Hauptfarbe sprechen; er bezeichnete die verschiedenen Töne des Rothen ziemlich genau, gebraucht auch den Ausdruck gelblich, um verschiedene Töne von Roth und Grün, die in diese Farbe hinüberspielen, zu charakterisiren und schaltet zwischen Roth und Grün, Gelb und einige seiner Abstufungen ein. Dem entsprechend konnte auch keine Gleichung gebildet werden, die bewiesen hätte, dass On. die Gelbempfindung mangle. (Vergl. später S. 471 u. f.)

Bei der spektroskopischen Untersuchung gab On. manchmal an, dass er ein Graugelb sehe und machte auch kleine unwesentliche Fehler im Aussuchen der entsprechenden Wollen. Dieses stimmt wieder mit dem Resultat überein, dass seine Empfindlichkeit für Gelb nur etwas herabgesetzt ist.

Bei einer von Stilling[1]) untersuchten Gelbblaublinden reichte das Spectrum bis zur Thalliumlinie. Später theilte Stilling[2]) einen Fall mit, bei dem das Spectrum weiter reichte. Die von ihm untersuchte gelbblaublinde Dame nahm noch so ziemlich das ganze spectrale Grün als solches wahr. Dem isolirten Blau resp. Violett wurde im gewöhnlichen Spectrum keine Farbe zugeschrieben; im lichtstarken Spectrum wurde dasselbe immer als Roth bezeichnet.

Bei einem Violettblinden von Holmgren[3]) reichte das

1) J. Stilling, Beiträge zur Lehre etc. — Ausserordentl. Beilageheft zu den klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde. XIII. Jahrg. II. Stuttgart 1875: Ueber die angeborene partielle Farbenblindheit und XIV. Jahrg. III. Stuttg. 1876 Ueber Blaugelbblindheit.

2) J. Stilling, Blaugelbblindheit etc. cit. oben S. 435.

3) J. Holmgren, Centr.-Blatt etc. cit. oben S. 450.

Spectrum ungefähr bis zur Linie *G*, bei den anderen bis zur Linie *F*. Der erste Violettblinde hatte als zweite Hauptfarbe Grün, welches bei der neutralen Linie begann und „sich dann mit „zunehmender Sättigung und dann mit immer dunkler werdenden „Nüancen über die Strecke fortsetzte, welche dem Grün, Grünblau, „Cyanblau und Indigoblau des Normalsehenden entspricht, bis zum „Anfang des Violetts“ [1]).

Der Gelbblaublinde von Hermann hatte beim subjectiven Spectrum eine zweite neutrale Linie für beide Augen zwischen $\lambda = 0{,}500\ \mu$ und $\lambda = 0{,}495\ \mu$; am objectiven lag diese zweite neutrale Linie zwischen $\lambda = 0{,}495\ \mu$ und $\lambda = 0{,}480\ \mu$; zwischen beiden neutralen Linien war die Hauptfarbe grün.

Das violette Ende war beim subjectiven Spectrum für das linke Auge „nur sehr wenig“, für das rechte Auge „kaum abgekürzt.“ Bei der Untersuchung mit dem objectiven Spectrum hörte „die Violett-Empfindung auf bei $\lambda = 0{,}400\ \mu$. Diese Stelle erschien „Professor Grönberg sowohl, als auch mir (Hermann) noch „dunkelviolett, jedenfalls farbig und nicht wesentlich grau, wie W . . . . . sie bezeichnete.“

Der Violettblinde von Donders [2]) hatte ein gegen das Violettende sehr verkürztes Spectrum.

Für On. fand das farbige Spectrum zwischen $\lambda = 0{,}493\ \mu$ und $\lambda = 0{,}490\ \mu$ sein Ende. Hat man diese Grenze überschritten, dann sieht On. blos grau; bis wohin aber das Grau reicht, konnte nicht ermittelt werden; die Indiumlinie wird von ihm als grau bezeichnet. On. benennt recht gut die verschiedenen Töne von Grün; erst wenn man zu Blaugrün gelangt, sieht er blos grün und von da an nur mehr grau.

Die Violettblinden von Holmgren hatten zwei Hauptfarben, nämlich Roth und Grün, der Gelbblaublinde von Hermann drei: Roth, Grün und Violett [3]).

---

1) F. Holmgren, Ueber die subjective etc. cit. oben S. 450.

2) Donders, Remarques sur les couleurs etc. cit. oben S. 436.

3) Die diesbezügliche Stelle aus Hermann's Dissertation lautet:

„Das Gesammtspectrum erscheint in drei Hauptfarben, die als Roth, „Grün und Violett bezeichnet werden. Der rothe Theil ist vom grünen durch „eine graue Stelle getrennt, welche dunkler sein soll als die angrenzenden „Farbenfelder. Der grüne und der violette Theil des Spectrums werden „ebenfalls von einer hellgrauen (weisslichgrauen), breiten Linie getrennt,

On. hat drei Farben: Roth, Gelb, Grün; für Gelb und Grün zeigt er jedoch eine Unterempfindlichkeit. (Vergl. S. 498 u. f.)

Der Gelbblaublinde von Hermann sah mit dem linken Auge die grösste Intensität des Spectrums „im Roth bei $\lambda = 0{,}685\ \mu$; „diese Stelle ist sogar intensiver, als die zweite sehr hell erschei- „nende neutrale Stelle bei $\lambda = 0{,}510\ \mu$. Für das rechte Auge liegt „das Maximum der Helligkeit zwischen den Wellenlängen $\lambda = 0{,}551\ \mu$ „und $\lambda = 0{,}490\ \mu$.“ In beiden Fällen mit dem subjectiven Spectrum untersucht.

Für den Violettblinden von Donders[1]) lag das Maximum der Intensität im Gelblich-grün (vert-jaunâtre) ungefähr bei $\lambda = 560$.

On. gab an, dass die grösste Helligkeit des Spectrums zwischen $\lambda = 0{,}565\ \mu$ und $\lambda = 0{,}558\ \mu$ liege, sowohl für das subjective Gas- wie auch für das Sonnenspectrum.

Die vier Gelbblaublinden, die Stilling[2]) mit dem Spectralapparat untersuchte, bezeichneten die Spectralfarben recht ungenau.

Der I. nannte die Farben einmal Roth und Gelb, ein zweites Mal Roth und Grün, das dritte Mal Blau und Grün.

Vom II. wurden sie folgendermassen benannt: das erste Mal Roth und Blau, dann machte er die Angabe: das Roth sei Goldgelb identisch mit der Na-Linie, endlich das dritte Mal werden die Farben als Goldgelb und Blau bezeichnet.

Der III. Fall äusserte sich über die Spectralfarben wie folgt: links Roth, rechts Blau oder Grün, nicht definirbar; zwischen beiden „sei eine hellere Partie, die aber roth sei, wie die erste Partie.“

Endlich nannte der IV.[3]) die Farben: Roth, Grün, Blau.

„welche heller sein soll, als die angrenzenden Felder, auch viel heller, als „der erste graue Streifen. Im gesammten Spectrum werden zwei Intensitäts- „maxima angegeben; das grösste Maximum im Roth, das andere correspondirend „der zweiten neutralen Stelle.“ Es ist sehr zu bedauern, dass Hermann bei dem grossen Fleiss, mit welchem er die Untersuchung vornahm, sich nicht auf objective Weise von der auffallenden Erscheinung überzeugte, dass sein Farbenblinder wirklich das Violett wahrnahm. Es wäre ausserdem die Untersuchung mit den Metalllinien, besonders mit der Indiumlinie sehr erwünscht gewesen.

1) Donders, Remarques etc. cit. oben S. 436.

2) J. Stilling, Beiträge etc. II. cit. oben S. 452.

3) J. Stilling, Beiträge etc. III. cit. oben S. 452.

Die Blaugelbblinden von Cohn[1]) (S. 243 und S. 286) machten bei der Benennung der Spectralfarben die gröbsten Fehler.

On. hat sich in dieser Beziehung gar keinen Fehler zu Schulden kommen lassen, aus dem man schliessen könnte, dass er weder Roth, noch Gelb, noch Grün sieht.

Die Gelbblaublinden von J. Stilling nannten die Na-Linie meistens roth, nur einer gelb.

Cohn beobachtete bei seinen fünf Blaugelbblinden, dass die Na-Linie durch braune, graue, gelbgrüne, chamois, rosafarbene, weisse, blauviolette oder orangefarbene Wollenbündel markirt wurde; das isolirte spectrale Gelb wurde mit roth, rosa, orange, grau oder rothviolett verwechselt (S. 244 und 286).

Magnus[2]) fand, dass der absolut Blaublinde die Na-Linie weiss nannte und mit hellgrauer Wolle bezeichnete; von den übrigen sechs wurde sie theils als weiss, theils grau oder bräunlich ausgesprochen und entweder durch bräunlichgraue oder durch weisse, einen leichten Stich ins Gelb zeigende Wollenprobe charakterisirt; die leichteren Fälle suchten aber, trotzdem sie einen falschen Namen für die *Na*-Linie gebraucht hatten, doch passende gelbe Wollen aus.

On. hat sowohl das spectrale Gelb wie auch die Na-Linie als gelb bezeichnet, nur gebrauchte er manchmal die Bezeichnung graugelblich. Beim Aussuchen der entsprechenden Wollbündel machte On. wohl einige, aber keine so groben Fehler wie die Blaublinden von Cohn und Magnus.

Die Lithiumlinie wurde von den Gelbblaublinden Stilling's als roth bezeichnet, nur einer nannte sie blau.

Die Blaugelbblinden von Cohn suchten für diese Linie roth und allenfalls noch ein purpur aus.

Die sieben Blaugelbblinden von Magnus nannten die Lithiumlinie stets roth und bezeichneten dieselbe durch mehr oder minder gesättigtes Roth, nur einer suchte eine braunrothe Wollenprobe heraus.

On. benannte die Lithiumlinie immer roth und suchte für sie rothe und rosa Bündel aus.

Der Thalliumlinie wurden von den Gelbblaublinden von Stil-

1) H. Cohn, Studien etc. cit. oben S. 435.

2) H. Magnus, Beiträge etc. cit. oben S. 435.

ling verschiedene Farben zugeschrieben, vier nannten dieselbe grün, einer blau, von einem wurde diese Linie einmal auch als lila bezeichnet, von einem andern wurde die Thalliumflamme als blau gefärbt bezeichnet.

On.'s Angaben sowohl der Thallium-Linie wie auch der -Flamme sind: grün oder schmutziggrün.

Stilling zeigte nur einem Farbenblinden die Indium- und die Caesium-Linie, welche aber von demselben nicht wahrgenommen wurden.

On. bezeichnete die Indiumlinie als dunkelgrau glänzend.

IV.

Farbengleichungen mit dem Kreisel hergestellt.

1) Vorbemerkungen.

Farbengleichungen für Gelbblaublinde wurden, so weit ich ermitteln konnte, bis jetzt nicht veröffentlicht. Cohn[1]) hatte wohl die Absicht, Farbengleichungen für die von ihm untersuchten Farbenblinden herzustellen, musste aber nach den ersten Versuchen vollständig davon abstehen, da diese Methode zur Prüfung Farbenblinder eine ausserordentlich zeitraubende und langwierige ist. Nur in einem einzigen Falle (bei einem Rothgrünblinden) hat Cohn ein ganz exactes Resultat erhalten (S. 18) und diese Gleichung auch (S. 134) mitgetheilt.

Für Rothgrünblinde sind seit Maxwell mehrere Gleichungen mitgetheilt worden.

Obwohl die Herstellung von Farbengleichungen mit farbigen Papieren am Kreisel nach übereinstimmenden Angaben mehrerer Forscher eine Geduldprobe, sowohl für den Untersuchten wie auch für den Untersuchenden ist, habe ich mich derselben unterzogen und bin H. On. besonders dankbar, dass er mit einer Bereitwilligkeit ohne gleichen sich dazu herbeiliess.

Es gelang mir für On. ziemlich viele Gleichungen herzustellen, für Mes. habe ich deren nur vier gebildet, dagegen ihm alle für On. ermittelten Gleichungen vorgeführt.

On. wurden ausserdem die vier für Mes. giltigen Gleichungen vorgelegt.

---

1) H. Cohn, Studien etc. cit. oben S. 435.

Es sei hier noch bemerkt, dass man öfters unter besonderen Umständen sein Ziel ziemlich rasch erreicht. Bei Mes. z. B. gelang es mir, mit dem Kreisel die vier Gleichungen binnen zwei Stunden zu erhalten. Seine Rothgrünblindheit ist ihm vollkommen bekannt, und daher war auch meine Arbeit wesentlich erleichtert.

Schwieriger gestaltete sich die Aufgabe bei On., der sich seines Fehlers nicht bewusst war; vorzugsweise in der ersten Zeit mussten wir beide viele Stunden opfern, ehe irgend eine Gleichung gelang. Später, als ich über seinen Fehler hinreichend orientirt war, gelangen die wichtigsten Gleichungen in sehr kurzer Zeit.

Zu diesen Beobachtungen benutzte ich den von Mechaniker Rothe[1]) in Prag construirten Kreisel.

Derselbe wurde in einem grossen, dreifenstrigen, gegen Norden gelegenen Zimmer in einer Entfernung von ungefähr zwei Metern einem Eckfenster gegenüber aufgestellt, so dass der Beobachter seinen Rücken dem Fenster zuwandte, ohne jedoch die Kreiselscheibe wesentlich zu beschatten. Die Zimmerwände sind grau getüncht, die Decke hat eine nicht ganz reine weisse Farbe. Hinter dem Kreisel war ein Stück vollkommen schwarzer Sammt so aufgestellt, dass sich die Kreiselscheibe ungefähr vor der Mitte dieses schwarzen Hintergrundes befand.

Als farbige Papiere benutzte ich die von Rothe dem Kreisel beigegebenen; es sind im ganzen zehn Farben, von welchen ich bei den Versuchen an Farbenblinden meistens nur sechs, nämlich Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett und Purpur verwendete. Die weissen Scheiben waren aus Barytpapier, die schwarzen theils aus Blumen-, theils aus Wollpapier[2]) herausgeschnitten.

Besonderer Erwähnung bedarf auch der Umstand, dass die farbigen und die schwarzen Papiere der verschiedenen Sendungen sehr häufig einen etwas verschiedenen Ton haben, worauf Rücksicht genommen werden muss, falls dieselbe Farbe auf beiden Seiten einer Gleichung gebraucht werden soll.

Bei der Spectraluntersuchung der einzelnen Papiere mittelst

---

1) Rothe, Farbenkreisel. Centr.-Blatt für pr. Augenheilkunde 1881 S. 93.

2) Die Erfahrung lehrte mich, dass es nicht ganz gleichgültig ist, ob die schwarzen Scheiben aus Papier oder aus Wollpapier sind, desshalb werde ich jedesmal auch diesen Umstand bei den einzelnen Gleichungen anführen.

[illegible] Zimmerwände [illegible]

[illegible] wurde ihre Kenn[illegible]

[illegible]

[illegible] Zimmer [illegible]

[illegible] mal [illegible] die [illegible]

[illegible] wir des nach der [illegible]

[illegible] der Zimmer [illegible]

[illegible]

[illegible] Steigerung der [illegible]

den Farben [illegible] würden [illegible]

[illegible] und jeder [illegible]

[illegible] von den [illegible] Farbenempfindung [illegible]

niederschreiben; dasselbe that auch der Farbenblinde. Erst jetzt wurde den beim Versuch beschäftigten Herren die stillstehende Kreisscheibe gezeigt und der Farbenblinde aufgefordert, bei wieder in Bewegung gesetztem Kreisel seine niedergeschriebene Angabe zu controlliren. Es ist niemals vorgekommen, dass er dieselbe corrigirt hätte.

Um die in der eben beschriebenen Weise hergestellte Gleichung zu jeder beliebigen Zeit mit Vermeidung der Wiederholung des ganzen Verfahrens vorlegen zu können, wurden die Papiere in geeigneter Art mittelst des zum Kleben von Documenten verwendeten transparenten gummirten Papiers fixirt. Man könnte wohl jedes andere gummirte Papier dazu verwenden, ich habe jedoch das genannte wegen seiner Dünnheit vorgezogen.

Das Zusammenkleben der Papiere muss vorgenommen werden noch während dieselben sich auf dem Kreisel befinden, um jede Verschiebung zu vermeiden und ausserdem nur an Stellen die verdeckt sind, um jede, wenn auch kleine Beschmutzung oder Veränderung der sichtbaren Fläche zu vermeiden.

Nachdem die Papiere hinreichend fixirt sind, wird die Schraubenmutter des Kreisels entfernt, und die Papiere auch an dieser bei den Versuchen verdeckten Stelle mit Gummipapier befestigt. Erst jetzt kann man die kleinen und grossen Papierscheiben vom Kreisel herunternehmen und die Papiere, wenn es nothwendig ist, an geigneten Stellen (an der Hinterseite) in ihrer Lage mit Gummipapier noch weiter befestigen.

Wenn man mit der nöthigen Vorsicht verfährt, erleiden die Papiere gar keine Verschiebung und die hergestellte Gleichung kann, wie schon oben erwähnt, aufbewahrt und in jedem Moment vorgelegt werden. Man hat ausserdem den weiteren Vortheil, die Messung der einzelnen Sectoren mit in 360° eingetheilten Messingkreisen mit Musse und Bequemlichkeit vornehmen zu können. Ausserdem kann man, wenn die kleine und grosse Scheibe jede für sich befestigt und nummerirt ist, bei Vertauschen der Scheiben von zwei Gleichungen auch Vexirproben vornehmen. Solche Vexirproben habe ich jedoch bei der gegenwärtigen Untersuchung als überflüssig erachtet.

Mit den in der eben geschilderten Weise hergestellten Gleichungen lassen sich auch nach Monaten, vorausgesetzt, dass die

Scheiben vor der Einwirkung des Lichtes und des Staubes wohl geschützt aufbewahrt werden, Controllbeobachtungen anstellen.

Bei diesen Controllbeobachtungen wurden die Gleichungen für den Rothgrünblinden, für den Blauviolettblinden und solche für Farbentüchtige ohne irgend eine Ordnung vorgelegt. Die Beobachter mussten während der Kreisel sich drehte, ohne zu wissen, welche Gleichung vorlag und jeder unabhängig von den anderen, die erhaltene Farbenempfindung niederschreiben.

Das eben geschilderte Verfahren schliesst, wie ich glaube, jeden Fehler aus und dies um so mehr, weil die Beobachter ihre Wahrnehmungen mit Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt niederschrieben. Es lassen sich weiter die Angaben eines Tages mit jenen eines anderen Tages vergleichen und daraus entnehmen, ob sie übereinstimmen. Wie die später mitzutheilenden Protokolle zeigen, waren auch die Angaben der einzelnen Beobachter an verschiedenen Tagen für eine und dieselbe Gleichung sehr gut übereinstimmend und die geringfügigen Unterschiede, die manchmal vorkommen, lassen sich ohne Zweifel aus den mannigfaltigen Nebenumständen erklären, die einen grossen Einfluss auf die Erkennung von Farben oder Farbentönen haben. Ausserdem ist nicht zu vergessen, dass sich nicht selten, besonders bei Anwendung greller Farben, Contrasterscheinungen zeigen.

Die in der geschilderten Weise fixirten Gleichungen lassen sich selbstverständlich leicht verschicken und es ist vielleicht auch möglich, dieselben durch Chromolithographie zu vervielfältigen, ein Gedanke, den ich hier angeregt haben will.

Vor der Besprechung meiner Beobachtungen will ich folgendes anführen: Hering[1]) sagt: die Gleichungen, um welche es sich bei der Diagnose der Rothgrünblindheit hauptsächlich handelt, sind folgende:

1) zwischen einem gesättigten Roth und einem Grau oder Weiss;
2) zwischen einem gesättigten Grün und einem Grau oder Weiss;
3) zwischen einem gesättigten Roth und einem Grün;
4) zwischen einem gesättigten Grün und einem Roth.

Es ist nun selbstverständlich, dass für Gelbblaublinde analoge Gleichungen gelten, sollten und falls dieselben auch violettblind

1) E. Hering, Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen. Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie. 42. Bd. 1888.

sind, ebenfalls ähnliche Gleichungen Giltigkeit haben müssten; ich musste daher trachten, folgende Gleichungen herzustellen:

1) Zwischen einem gesättigten Blau (Violett) und einem Grau oder Schwarz;

2) zwischen einem gesättigten Gelb und einem Grau oder Weiss;

3) zwischen einem Blau (Violett) und einem Gelb;

4) zwischen einem gesättigten Gelb und einem Blau (Violett).

Nur im Falle des Gelingens dieser Gleichungen hätte ich die volle Sicherheit gewonnen, dass On. wirklich Gelbblauviolettblind ist.

2) Gleichungen für den Roth-Grün-Blinden.

Es sollen zuerst die für den Rothgrünblinden (Mes.) hergestellten Gleichungen besprochen werden.

In Tab. X habe ich die Ergebnisse der Beobachtungen zusammengestellt, als ich die vier von Hering für die Rothgrünblinden geforderten Gleichungen auch dem Farbentüchtigen (Pos.) und dem Blauviolettblinden (On.) vorlegte.

Tabelle X.

I. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 351° + Weiss 9° =
innen Roth 347° 30′ + Blau 12° 30′.

16./V. 90. Me.: beide Zonen gleich grau mit feinem Stich ins Gelb.
20./V. 90. Pos.: aussen dunkel graugrün; innen carminroth.
On.: aussen dunkelgrau; innen dunkelroth.

Mes.: gleich dunkel gelblichgrau.

21./V. 90. On.: aussen sehr dunkelgrau; innen dunkelroth.

Mes.: gleich dunkel gelbgrau; innen etwas mehr gelblich.

II. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 219° 30′ + Weiss 140° 30° =
innen Grün 221° + Blau 139°.

16./V. 90. Mes.: gleich lichtgrau.
20./V. 90. Pos.: aussen lichtgrau (mit geringem Stich ins Röthlichgelbe); innen hellgrün.

On.: aussen grau mit zweifelhafter röthlicher Färbung; innen dunkelgrün (verde carico).

Mes.: gleich grau.

21./V. 90. On.: aussen hellgrau; innen dunkelgrün (verde carico).

Mes.: gleich grau.

III. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 304° + Grün 32° + Blau 24° =
innen Roth 341° + Blau 19°.

16./V. 90. Mes.: gleich grau.
20./V. 90. Pos.: aussen dunkelgrün; innen carminroth.

On.: aussen sehr dunkelgrün (verdone); innen dunkelroth.

Mes.: grau; innen um eine feinste Nüance dunkler.

23./V. 90. On.: aussen sehr dunkelgrün (verdone); innen dunkelroth.
Mes.: beide dunkelgrau; innen mit Spur von Gelb.

IV. M.

Aussen Roth 200° 30′ + Blau 26° + Weiss 133° 30′ =
innen Grün 227° 30′ + Blau 132° 30′.

16./V. 90. Mes.: Gleich lichtgrau ohne Färbung.

20./V. 90. Pos.: aussen lichtroth (Stich ins Fleischfarbige); innen grün.
On.: aussen rosa; innen grün.
Mes.: aussen lichtgrau; innen hellgrau mit Spur von Gelb.

23./V. 90. On.: aussen rosa; innen dunkelgrün.
Mes.: beide gleich grau mit Spur von Gelb.

Aus den angeführten Beobachtungsprotocollen ergiebt sich, dass es für Mes. gelang, die vier Hauptgleichungen herzustellen.

Es wurde für Roth und für Grün das entsprechende Grau gefunden; zu Roth musste eine kleine Menge Blau hinzugefügt werden, weil Mes. bei Roth allein eine gelbliche Empfindung hatte; zu Grün musste dagegen eine grössere Quantität Blau hinzugegeben werden. Der Grund konnte ein doppelter sein: entweder weil mein grünes Papier etwas gelblich aussieht, oder weil das Grün für Mes. ein anderes Gelb ist als das Roth; und in der That erscheint Mes. das verwendete rothe Papier als dunkles schmutziges; das grüne dagegen als ein helles schmutziges Gelb.

Dem entsprechend musste bei den zwei anderen Gleichungen, in welchen Roth (beziehungsweise Grün) mit Grün (beziehungsweise mit Roth) gleichgemacht wurde, auf beiden Seiten der Gleichung Blau hinzugefügt werden.

Es scheint noch folgendes erwähnungswerth. Mes. beschäftigt sich auch mit Malerei; um nun die ihm fehlenden Farben zu erkennen, benützt er ein von ihm selbst zusammengestelltes rothes Glas, wodurch es ihm ermöglicht wird, durch Schlüsse aus der Intensität des durch das Glas gesehenen Roth und Grün diese Farben und sogar ihre Nüancirungen zu unterscheiden.

Dass Farbenblinde zur Unterscheidung von Farben sich gefärbter Gläser bedienen können, wird von Seebeck, Leber[1]) und Mauthner[2]) erwähnt.

1) Th. Leber in Gräfe und Saemisch, Handbuch der gesammten Augenheilkunde. V. Bd. S. 1034.

2) L. Mauthner, Vorträge aus dem Gesammtgebiete der Augenheilkunde. IV. Heft: Die Functionsprüfung des Auges. Farbensinn S. 251.

Es ist dies eine Methode, welche nur durch grosse Uebung erlernt werden kann. Um nun zu sehen, in wie weit dies möglich ist, ersuchte ich ihn, mit seinem Glase sowohl die rotirenden, wie auch die stillstehenden Scheiben zu betrachten und in beiden Fällen seine Urtheile bezüglich der Farben niederzuschreiben. Die Ergebnisse dieser Untersuchung habe ich in Tab. XI zusammengestellt, in welcher zum Vergleiche noch einmal die Angaben Pos.'s angeführt sind.

Tabelle XI.

I. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 351° + Weiss 9° =
innen Roth 347° 30' + Blau 12° 30'.

Pos.: aussen dunkelgraugrün; innen carminroth.

Mes.: aussen grünlich; innen kräftig roth [1]).

Mes.: innen kräftig roth und blau.

II. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 219° 30' + Weiss 140° 30' =
innen Grün 221° + Blau 139°.

Pos.: aussen lichtgrau (mit ganz geringem Stich ins Röthlichgelbe), innen hellgrün.

Mes.: aussen grau; innen grünlich.

Mes.: innen entschieden blau und gelb mit grünlichem Ton.

III. M.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 304° + Grün 32° + Blau 24° =
innen Roth 341 + Blau 19°.

Pos.: aussen dunkelgrün; innen carminroth.

Mes.: aussen grau; innen deutlich roth.

Mes.: aussen schwarz, gelbgrün und blau; innen roth und blau.

IV. M.

Aussen Roth 200° 30' + Blau 26° + Weiss 133° 30' =
innen Grün 227° 30' + Blau 132° 30'.

Pos.: aussen lichtroth (Stich ins fleischfarbige); innen grün.

Mes.: ausen gelbroth; innen blaugrün.

Mes.: aussen kräftig roth, blau und weiss; innen kräftig grün mit etwas gelb und blau.

Diese Angaben beweisen, dass Mes. mit dem Glase im Stande ist, die Farben ziemlich richtig, manchmal sogar sehr genau zu bezeichnen.

Mes. benutzt rothe Gläser in verschiedener Dicke.

Der Bequemlichkeit wegen hat sich Mes. aus einem und dem-

1) Die erste Angabe Mes.'s bezieht sich auf die rotirende, die zweite auf die stillstehende Scheibe.

selben Glas, welches für mich eine orange röthliche Färbung besitzt, einen treppenförmigen Glassatz gebildet und zwar so, dass er auf das dünne Glas, welches die Basis der Treppe bildet, mittelst durchsichtigen Lacks eine zweite und auf diese eine dritte Platte befestigte.

Die erste Stufe hat für mich, wie erwähnt, eine orange-röthliche Färbung, die zweite ist deutlich roth und die dritte sehr dunkelroth.

Ich habe diesen Glassatz spektroskopisch untersucht und fand, dass die erste Stufe Blau und Violett nicht durchlässt und im Gelben einen leichten Absorptionsstreifen zeigt; die zweite Stufe lässt keine gelben, blauen und violetten Strahlen durch und auch die grünen sind sehr geschwächt; die dritte lässt nur Roth durch.

Die Gleichungen für Mes. habe ich auch Pos. und On. vorgelegt.

Wenn man nun die Angaben On.'s in Betracht zieht (Tab. X) und dieselben mit jenen Pos.'s (farbentüchtig) vergleicht, so stellt sich folgendes heraus:

1) On. hat immer angegeben, dass die zwei Zonen verschieden sind;

2) die von ihm gewählten Farbenbenennungen stimmen meistens mit jenen von Pos. überein.

Wenn man auch auf die von Farbenblinden benützten Bezeichnungen keinen Werth legen darf, so ist doch der Schluss wohl begründet, dass On. gewiss nicht ebenso roth-grünblind ist wie Mes., da für ihn die Gleichungen von diesem nicht giltig sind.

Ich gab mich mit diesem Ergebnis nicht zufrieden und versuchte, jedoch vergebens, verschiedene andere Gleichungen. Es kann daher mit Sicherheit gesagt werden, dass On. nicht rothgrünblind ist. Die in den vorhergehenden Seiten mitgetheilten spektroskopischen Untersuchungen, wie auch die später mitzutheilenden Beobachtungen werden diese Behauptung noch mehr bekräftigen.

Es wäre aber noch immer möglich, dass On. für die zwei genannten Farben etwas unterempfindlich wäre; die darüber vorgenommenen Versuche sollen später ausführlich besprochen werden. (Vergl. S. 486 u. f.)

3) Gleichungen für den Blau-Violett-Blinden.

a) Gleichungen für Blau und für Violett.

Es sollen nun die für On. giltigen, und zwar zuerst jene Gleichungen besprochen werden, welche uns Aufschluss geben, wie er das Blau und Violett sieht.

Es gelang wirklich für beide Farben das entsprechende Grau (mit Schwarz (Wollpapier) und Weiss) zu finden, wie aus den in Tab. XIIa mitgetheilten Gleichungen ersichtlich ist. Wie schon früher bei Mes. werde ich auch bei den Gleichungen für On. die Angaben der übrigen Beobachter mittheilen, und werde alle Beobachtungen ohne Ausnahme anführen, damit, wie schon erwähnt, sich der Leser selbst ein Urtheil über die an verschiedenen Tagen notirten Angaben bilden könne.

Tabelle XIIa.

Gl. XVI.

Innen Violett. = aussen Weiss 18° + Schwarz, 342° (Wollpapier).

6./III. 90. On.: grau mit schwacher gelblicher Färbung.

8./III. 90. Pos.: aussen dunkelgrau mit Stich ins Grün; innen Blau mit Stich ins Violett.

St.: aussen dunkelgrau; innen blauviolett.

On.: gleich grau mit sehr schwacher gelblicher Färbung.

23./V. 90. On.: sehr dunkelgrau.

Mes.: aussen sehr schmutzig dunkelgelb; innen kräftig blau.

Gl. XX.

Aussen Blau = innen Weiss 35° + Schwarz 325° (Wollpapier)[1].

7./III. 90. On: gleich grau mit schwacher gelblicher Färbung.

8./III. 90. Pos.: aussen lichtblau; innen grau.

St.: aussen tiefblau; innen gelblichgrau.

On.: gleich dunkelgrau.

20./V. 90. On.: grau, die äussere Zone etwas dunkler.

Mes.: aussen kräftig blau, innen schmutzig dunkelgelb.

Mit dem schwarzen Blumenpapier gelang es wohl für Violett, nicht aber für Blau die entsprechende Gleichung zu bilden; erst als ich schwarzes Wollpapier anwandte, gelang eine solche auch für diese Farbe.

Es scheint, dass On. für Helligkeitsunterschiede zwischen dem ihm grau erscheinenden Blau beziehungsweise Violett und einem wirklichen Grau sehr empfindlich sei. Als ich nämlich die Gleichung für Blau herstellte, mischte ich zum Schwarz nur 22° Weiss und

1) Vor der Fixirung wurden nur 22° Weiss benutzt. On's. Angabe: äussere Zone markirter als die innere.

On. merkte sogleich, dass die zwei Zonen etwas verschieden waren; die äussere Zone (Blau) erschien ihm, wie er sich ausdrückte, markirter. Dasselbe gilt auch für Violett, wie aus den in Tab. XIIb mitgetheilten Angaben hervorgeht.

Tabelle XIIb.

Gl. XVIa, nicht fixirt.

Aussen Violett = innen Schwarz (Blumenpapier) 337° + Weiss 23°.

On.: beide grau mit glänzender gelblicher Färbung.

Es wird nun die Menge Schwarz und Weiss geändert:

Schwarz 296° + Weiss 64°, innere Zone zu hell.

Schwarz 327° + Weiss 35°, innere Zone noch zu hell.

Schwarz 337° + Weiss 23°, beide Zonen dunkelgrau mit glänzender gelblicher Färbung.

Es könnte vielleicht auffallen, dass die zwei Gleichungen XVI und XVIa nicht identisch sind. Es rührt dies sehr wahrscheinlich von dem Umstande her, dass die angewendeten schwarzen Scheiben nicht gleich waren; jedenfalls ist der Unterschied in den Zahlenwerthen ziemlich klein.

Die zwei eben besprochenen Gleichungen sind gewiss hinreichend für den Beweis, dass On. blau und violettblind ist; alle anderen Gleichungen, die noch hergestellt werden können, und von welchen mehrere auch gebildet wurden, werden das durch die zwei Hauptgleichungen erhaltene Resultat controlliren und bekräftigen.

Aus den beiden Hauptgleichungen lässt sich folgern, dass es möglich sein muss, eine, vielleicht auch mehrere Gleichungen zwischen Violett und Blau einerseits, Schwarz und Weiss anderseits zu bilden.

Tabelle XIII.

Gl. XXIII.

Innen Violett 239° + Blau 121° = aussen Weiss 24° + Schwarz (Wollpapier) 336°.

22./IV. 90. On.: dunkelgrau und vollkommen gleich.

Mes.: innen intensiv blau; aussen dunkelgelbgrau.

20./V. 90. Pos.: innen dunkelblau; aussen dunkelgrau (mit minimalem Stich ins Grünliche).

On.: beide Zonen gleich, sehr dunkelgrau.

Mes.: innen kräftig blau; aussen schmutzig graugelb dunkel.

Die in Tab. XIII angeführten Angaben zeigen, dass eine solche Gleichung in der That gelungen ist.

Ebenso konnten, wie aus Tab. XIV ersichtlich, folgende drei Gleichungen gebildet werden:

Blau = Violett und Schwarz (Gleich. XXI).
Violett = Blau und Weiss (Gleich. XXIV).
Blau und Weiss = Violett und Schwarz (Gleich. XXVI).

Tabelle XIV.

Gl. XXI.

Aussen Blau = innen Violett 242° + Schwarz (Wollpapier) 118°.
22./IV. 90. On.: beide Zonen gleich, sehr dunkelgrau.
Mes.: aussen hellblau; innen dunkelblau.
20./V. 90. Pos.: aussen blau; innen dunkelblau mit Stich ins Violett.
On.: sehr dunkelgrau, beide Zonen gleich.
Mes.: aussen Blau; innen dunkelblau.

Gl. XXIV.

Aussen: Violett = innen Blau 348° + Weiss 12°.
22./IV. 90. On: beide Zonen gleich mittelgrau.
Mes.: aussen dunkelblau; innen lichtblau.
20./V. Pos.: aussen Blau mit Stich ins Violett; innen Blau etwas heller.
On.: beide Zonen gleich dunkelgrau.
Mes.: aussen dunkelblau; innen etwas lichter blau.

Gl. XXVI.

Aussen Blau 351° + Weiss 9° = innen Violett 350°, Schwarz (Wollpapier) 10°.
23./V. 90. Pos.: aussen blau; innen violett.
On.: beide Zonen gleich dunkelgrau.
Mes.: beide Zonen intensiv blau; innere bedeutend heller.

Obwohl nun On., wie aus den bis jetzt angeführten Kreiselversuchen unzweifelhaft hervorgeht, Blau und Violett mit Grau verschiedener Helligkeit identificirt, gebrauchte er wenigstens zu Anfang dieser Untersuchung für die beiden ihm fehlenden Farben nie das Wort grau; ebenso wenig je den richtigen oder den Namen irgend einer anderen Farbe, sondern unterschied sie als „unbekannte Farben" von den übrigen. Mit welchem Grau On. das Blau und das Violett identificire, lässt sich aus vorstehenden Gleichungen nicht entnehmen.

Die in den vorstehenden Tabellen angeführten Angaben von Mes. zeigen uns, dass dieser das Violett nicht erkennt; er benennt diese Farbe je nach dem Ton sehr verschieden. Das Violett mit oder ohne Zusatz von Schwarz erscheint ihm Blau, was leicht

erklärt werden kann, da ihm die Empfindung des Rothen vollständig mangelt.

Nachdem mit der Herstellung der in den früheren Seiten besprochenen Hauptgleichungen der Nachweis geliefert war, dass On. blau- und violettblind ist, und dass ihm diese Farben als Grau erscheinen, so ist es klar, dass auch alle Nüancirungen derselben ihm als ein mehr oder weniger dunkleres oder helleres Grau erscheinen müssen. Dementsprechend muss die Zahl der möglichen Gleichungen eine sehr grosse sein. Ich begnügte mich mit der Bildung der wenigen in Tab. XV angeführten Gleichungen.

Tabelle XV.

Gl. V.

Innen Blau 126° + Weiss 234° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 140° + Weiss 220°.

4./II. 90. On.: beide hellgrau.

Pos.: innen helllila; aussen hellgrau.

4./III. 90. On.: beide grau.

Pos.: innen lichtlila; aussen lichtgrau.

St.: innen sehr hellviolett; aussen sehr hellgrau mit Stich ins grünlich.

27./II. 90. On.: beide gleich grau.

Pos.: innen lila; aussen lichtgrau.

St.: innen hellviolett; aussen gelblichgrau.

21./V. On.: beide gleich; sehr hellgrau.

Mes.: innen bläulichgrau; aussen grau; beide sehr licht.

Gl. X.

Innen Blau 250° + Weiss 110° = aussen Schwarz (Wollpapier) 270° 30′ + Weiss 89° 30′.

1./III. 90. On.: beide lichtgrau.

8./III. 90. On.: beide lichtgrau.

Pos.: innen helllila; aussen lichtgrau.

St.: innen hellviolettblau; aussen gelbgrau.

21./V. 90. On.: beide lichtgrau.

Mes.: innen lichtblau (schmutzig); aussen gelblichgrau.

Gl. II.

Aussen Violett 334° + Weiss 26° = innen Schwarz (Blumenpapier) 318° + Weiss 42°.

28./I. 90. On.: beide gleich, gelblich glänzend.

Pos.: aussen lila, lichtviolett; innen grau.

St.: aussen lilaviolett; innen dunkelgrünlichgrau.

4./II. 90. On.: beide gleich, gelblich glänzend.

Pos.: aussen lilla; innen dunkelgrau.

St.: aussen violett; innen grünlichgrau.

27./II. On.: beide gleich, graugelblich.

Pos.: aussen blau, Stich ins Violett; innen grau.

St.: aussen violett; innen dunkel olivengrüngrau.

20./V. 90. On.: beide gleich, grau.

Mes.: aussen kräftig blau; innen sehr schmutzig dunkelgelb.

Ueber die Ergebnisse dieser Gleichungen lässt sich folgendes bemerken:

Bei Gleichung II (Violett + Weiss = Schwarz + Weiss) bezeichnete On. häufig die erhaltene Empfindung als gelblich, was höchst wahrscheinlich eine Contrasterscheinung ist.

Man wird später bei den Contrastversuchen sehen, dass in der That das Blau auch bei On. die Contrastfarbe Gelb hervorruft. In dem vorliegenden speciellen Falle ist es aber auffallend, dass auch die lichtviolette Farbe (die inducirende) oft als gelblich bezeichnet wird.

Mes. hatte sowohl bei Gleichung X wie auch bei Gleichung II ebenfalls die Empfindung des Gelben, die jedenfalls nur durch den Contrast, wie bei Farbentüchtigen hervorgerufen wurde.

Ich versuchte nun weiter, ob es möglich ist, beim Vorhandensein von Blau oder Violett Gleichungen zu bilden, bei welchen auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens dieselbe oder eine ähnliche Farbe in verschiedener Menge hinzugefügt wird. In dieser Weise sind die vier Gleichungen entstanden, welche in Tab. XVI mitgetheilt sind.

Tabelle XVI.

Gl. III.

Innen Violett 322° + Weiss 25° + Roth 13° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 323° + Weiss 27° + Roth 10°.

28./I. 90. On.: beide gleich schwach gelblich.

Pos.: innen violett; aussen grau.

St.: innen violett; aussen grünlichgrau.

27./II. 90. On.: beide grau, jedoch ein wenig verschieden.

Pos.: innen blauviolett; aussen dunkelgrau.

St.: innen purpurviolett; aussen dunkel gelblichgrau.

23./V. 90. On.: beide mittelgrau von gleicher Intensität.

Mes.: innen schmutzigblau; aussen dunkel schmutziggelb.

Gl. XII.

Innen Violett 229°. Weiss 59°. Roth 72°.= aussen Schwarz (Blumenpapier). 222° + Weiss 73° + Roth 65°.

3./III. 90. On.: grau mit schwacher zweifelhafter röthlicher Färbung.

St.: innen rosaviolett; aussen hellröthlich-graubraun.

8./III. 90. On.: grau mit röthlicher Färbung.

Pos.: innen violett; aussen hellbraunroth.

St.: innen rosaviolett; aussen grauröthlich.

23./V. 90. On.: innen grau mit zweifelhafter röthlicher Färbung; aussen grau.

Mes.: innen sehr schmutzigblau; aussen sehr schmutzig gelbgrau.

Gl. XIV.

Innen: Blau 105° + Schwarz (Blumenpapier) 160° + Roth 95° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 339° + Weiss 7° + Roth 14°.

4./III. 90. On.: gleich grau.

Pos.: innen violett; aussen rothbraun.

St.: innen violett; aussen röthlichbraun.

8./III. 90. On.: innen grauröthlich; aussen grauröthlich, etwas heller.

Pos.: innen röthlichviolett; aussen rothbraun.

St.: innen purpurviolett; aussen grauröthlich.

23./V. 90. On.: innen grau mit zweifelhafter röthlicher Färbung; aussen grau.

Pos.: innen purpurroth mit Stich ins Violett, dunkel; aussen röthlich braun.

Mes.: innen sehr schmutzig blau; aussen sehr schmutzig dunkelgelb.

Gl. XIX.

Innen Blau 234° + Blaugrün 126° = aussen Schwarz (Wollpapier) 321° 30′ + Weiss 19° + Grün 19° 30′.

7./III. 90. On.: grau mit gelblicher Färbung.

Pos. innen: lichtblau; aussen grün mit Stich ins Bräunliche.

St.: innen himmelblau; aussen dunkel-graugrün.

8./III. 90. On.: grau mit gelblicher Färbung.

Pos.: innen lichthimmelbau; aussen graugrün mit Stich ins Bräunliche

St.: innen himmelblau; aussen gelblichgrüngrau.

23./V. On.: innen dunkelgrau; aussen sehr schmutziggrün.

Pos.: innen lichtblau: aussen graugrün mit Stich ins Olivengrün.

Mes.: innen schmutzigblau; aussen schmutzig dunkelgelb.

Die Angaben On.'s bezüglich dieser vier Gleichungen sind nicht an allen Tagen gleichlautend. Der Grund dieser Erscheinung lässt sich schwer angeben; es kann nur vermuthet werden, dass entweder die gewiss nicht an allen Tagen gleiche Beleuchtung oder eine auch bei Farbentüchtigen vorkommende subjective Stimmung die Ursache der etwas schwankenden Angaben sei.

Gleichung XIV zeigt, dass On., wenn auch nicht immer, doch manchmal ein sehr schwaches Roth erkennt, und dass er die purpurviolette Farbe oft als grauröthlich bezeichnet.

Aus Gleichung XIX geht hervor, dass On. auch eine sehr dunkle graugrüne Farbe manchmal richtig benennt.

Wichtiger sind die zwei anderen Gleichungen. Aus Gleichung III geht hervor, dass zu Violett und Weiss eine kleine Menge Roth hinzugefügt werden kann, ohne die Gleichung mit Schwarz und Weiss zu alteriren, wenn man gleichzeitig zu den letzteren eine entsprechende Menge Roth hinzugiebt.

Gleichung XII zeigt, dass On. ein Rosaviolett meistens als grauröthlich erscheint.

Es sei schliesslich angeführt, dass auch eine Gleichung gebildet werden konnte, bei welcher sich einerseits Violett und Weiss, anderseits Schwarz, Weiss und Roth befanden. Vergleiche folgende Tab. XVII.

Tabelle XVII.

Gl. XI.

Aussen Violett 342° + Weiss 18° = innen Schwarz (Blumenpapier) 310° + Weiss 27° + Roth 23°.

3./III. 90. On.: gleich grau.

Pos.: aussen violett; innen dunkelgrau.

St.: aussen violett; innen grünlich rothbraun.

8./III. 90. On.: grau mit schwacher gelber Färbung.

Pos.: aussen lila; innen braungrau mit geringem Stich ins Roth.

St.: aussen violett; innen gelbbraun.

21./III. 90. On.: gleich dunkelgrau.

Mes.: aussen kräftig blau; innen schmutzig gelb (dunkel).

Diese Gleichung wurde hergestellt, weil On. bei Versuchen, die später mitgetheilt werden sollen, angab, dass eine gewisse Mischung von Violett und Weiss ihm als röthlich erscheine. (Vergl. S. 495.)

Die Beobachtungen an dem Roth-grünblinden (Mes.) haben nichts wesentlich Neues ergeben und daher soll eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

b) Gleichungen für Gelb.

Bei allen bis jetzt angeführten Gleichungen wurde vorsätzlich Gelb vermieden; die nun zu besprechenden sollen dagegen Auskunft geben, wie On. das Gelb sieht.

Nachdem was früher S. 461 angeführt wurde, musste vor

Allem versucht werden, Gleichungen zwischen einem gesättigten Gelb und einem Grau oder Weiss herzustellen.

Die Gleichung zwischen Gelb einerseits und Schwarz und Weiss anderseits gelang nicht.

Eben so wenig gelang jene zwischen Gelb + Weiss und Schwarz + Weiss.

Die Gleichung zwischen Gelb + Weiss und Weiss werde ich später bei einer anderen Gelegenheit (S. 489) ausführlich besprechen; hier möge zu erwähnen genügen, dass die Gelbmenge, welche mit Weiss gemischt werden kann, damit On. diese Mischung als gelblich im Vergleich zum Weiss erkenne, klein, jedoch bedeutend grösser als für Farbentüchtige ist, woraus seine Unterempfindlichkeit für Gelb hervorgeht.

Es wurde weiter eine Gleichung zwischen Gelb + Schwarz und Weiss + Schwarz versucht. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen sind in folgender Tab. XVIII mitgetheilt.

Tabelle XVIII.

Aussen	Gelb	97° +	Schwarz	263°;	innen	Weiss	45° +	Schwarz	315°
		gelb.							
„	„	62° +	„	298°;	„	„	45° +	„	315°
		gelb.							
„	„	43° +	„	317°;	„	„	45° +	„	315°
		gelb.							
„	„	43° +	„	317°;	„	„	15° +	„	345°
		gelb.							
„	„	26° +	„	334°;	„	„	15° +	„	345°
		geb.							
„	„	19° +	„	341°;	„	„	15° +	„	345°
		gelb.							
„	„	10° +	„	350°;	„	„	15° +	„	345°
		gelb.							
„	„	4° +	„	356°;	„	„	15° +	„	345°
		nicht gelb.							
„	„	5° 30′ +	„	354° 30′;	„	„	15° +	„	345°
		nicht gelb.							
„	„	8° +	„	352°;	„	„	15° +	„	345°
		schwach gelblich.							

Aus diesem Versuchsprotokoll entnimmt man, dass, wenn auch nur 8° Gelb mit 352° Schwarz gemischt war, On. noch immer die Empfindung des Gelben hatte; die andere Zone bestand

aus 15° Weiss und 345° Schwarz. Die möglichen sehr zahlreichen Combinationen konnten nicht einmal näherungsweise erprobt werden; ausserdem wurde eine Gleichheit der beiden Zonen in diesem Versuch nicht angestrebt, da eine andere Gleichung gezeigt hatte, dass, wenn man dem Schwarz auf einer Seite sehr wenig Gelb und auf der anderen Seite ebenfalls sehr wenig Weiss zumischt, die Gleichheit herzustellen gelingt. (Siehe folg. Tab. XIX.)

Tabelle XIX.

Gleichung nicht fixirt.

Aussen Gelb 1° 30′, Schwarz 358° 30′ = innen Schwarz 355° 30′ + Weiss 4° 30′.

On.: sehr dunkel und beide gleich.

Pos.: aussen stark dunkelgrau (Stich ins Gelbgrün); innen grau, etwas lichter.

St.: aussen grünlich dunkelgrau; innen dunkelgrau.

NB. Bei einer etwas grösseren Menge Gelb erkannte On. immer eine gelbliche Färbung.

Die Gelbmenge in dieser Gleichung ist aber so gering, dass auch Farbentüchtige nur einen sehr geringen Unterschied zwischen beiden Zonen fanden; einer davon sah in der äusseren Zone einen Stich ins Gelbgrüne.

Die zwei zuletzt besprochenen Gleichungen stehen in innigem Zusammenhange mit einer anderen später mitzutheilenden Beobachtung und bekräftigen deren Ergebnis. (Vergl. S. 486 u. f.)

Ich versuchte auch die Gleichung zwischen Gelb + Weiss + Schwarz und Schwarz + Weiss, und konnte, wie aus Tab. XX ersichtlich, drei Gleichungen bilden, wovon ich aber nur eine fixirte und aufbewahrte.

Tabelle XX.

Gleichung nicht fixirt.

Innen Gelb 40° + Schwarz (Blumenpapier) 84° + Weiss 236° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 111° + Weiss 249°.

On.: beide gleich gelblichgrau.

Pos.: innen lichtgrau; aussen lichtblaugrau (Stich ins Violettgrau).

St.: innen grünlichgrau; aussen bläulichgrau.

Gleichung nicht fixirt.

Innen Gelb 20° + Schwarz (Blumenpapier) 150° + Weiss 190° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 180° + Weiss 180°.

On.: gleich grau.

St.: innen grünlich gelbgrau; aussen schwach blaugrau.

Gl. VII.

Innen Gelb 25 + Schwarz (Blumenpapier) 252° + Weiss 83° = aussen Schwarz (Blumenpapier) 254° + Weiss 106°.

12./II. 90. On.: grau mit unbekannter Färbung.

27./II. 90. On.: innen gelblichgrau; aussen grau.

Pos.: innen graugrün; aussen grau.

St.: innen gelblichgrau; aussen grau.

21./V. 90. On.: beide gleich hellgrau.

Mes.: innen sehr schmutziggelblich; aussen grau.

Es wäre vielleicht gelungen, in dieser Weise mehr Gleichungen zu bilden, ich erachtete es aber für überflüssig, da auch Farbentüchtige, offenbar in Folge der geringen Menge des vorhandenen Gelb, dieses in der Farbenmischung nicht immer erkennen und nur einen sehr geringen Unterschied zwischen beiden Zonen finden konnten.

Da aus dem bis jetzt Angeführten hervorzugehen scheint, dass On. nur ein sehr helles Gelb als Weiss oder als ein sehr helles Grau wahrnimmt, so musste es auch möglich sein, indem man zu einer bestimmten Farbe (Roth oder Grün) auf einer Seite Gelb, auf der anderen Seite Weiss zumischt, einen in beiden Zonen für On. ganz gleich erscheinenden Farbenton zu erhalten. Von dieser Voraussetzung ausgehend habe ich die in folgenden Tab. XXI und XXII mitgetheilten Versuche angestellt.

Tabelle XXI.

		Angabe von On.	
I.	Innen Gelb 137° + Roth 223°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 29° + Roth 331°		
II.	Innen Gelb 95° + Roth 265°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 29° + Roth 331°		
III.	Innen Gelb 77° + Roth 283°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 29° + Roth 331°		
IV.	Innen Gelb 77° + Roth 283°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 29° + Roth 331°		
V.	Innen Gelb 77° + Roth 283°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 16° + Roth 344°		
VI.	Innen Gelb 38° + Roth 322°	gelb	ungleich.
	Aussen Weiss 16° + Roth 344°		

VII.	Innen Gelb 30° + Roth 330°, die gelbe Färbung der inneren Zone nicht sichtbar. Aussen Weiss 16° + Roth 344°	ungleich.
VIII.	Innen Gelb 30° + Roth 330° gelbe Färbung Aussen Weiss 8° + Roth 352°	ungleich.
IX.	Innen Gelb 15° + Roth 345° keine gelbe Färbung Aussen Weiss 8° + Roth 352°	ähnlich, aber nicht gleich.
X.	Innen Gelb 19° + Roth 341° gelbe Färb. zweifelhaft. Aussen Weiss 8° + Roth 352°	ungleich.
XI.	Innen Gelb 24° + Roth 336° schwach gelbliche Färb. Aussen Weiss 8° + Roth 352°	ungleich.

Tabelle XXII.

Angaben von On.

I.	Aussen Gelb 41° + Grün 319° Innen Weiss 51° + Grün 309° grün, blässer als aussen	ungleich.
II.	Aussen Gelb 41° + Grün 319° grün mit zweifelhafter gelblicher Färbung. Innen Weiss 37° + Grün 323°	ungleich.
III.	Aussen Gelb 35° + Grün 325° grün mit zweifelhafter gelblicher Färbung. Innen Weiss 37° + Grün 323°	ungleich.
IV.	Aussen Gelb 30° + Grün 330° dunkler als innen, sehr zweifelhafte gelbe Färbung. Innen Weiss 36° + Grün 324°	ungleich.
V.	Aussen Gelb 24° + Grün 336° Innen Weiss 27° + Grün 333°	etwas ungleich; On. kann aber nicht entscheiden, welche Zone die hellere oder die dunklere sei.

Aus diesen zwei Versuchen geht hervor, dass wohl eine Aehnlichkeit aber keine Gleichheit der beiden Zonen hergestellt werden konnte. Wäre es mir auch gelungen, beide Zonen vollkommen gleich zu machen, so hätten die zwei versuchten Gleichungen bloss bewiesen, dass On. für Gelb etwas unterempfindlich ist, was schon aus den früheren Beobachtungen hervorging, und die später mitzutheilenden noch weiter erhärten werden.

Wenn es auch von untergeordneter Bedeutung ist, will ich doch eines Umstandes Erwähnung thun; sobald nämlich am Kreisel das Gelb hervortrat, machte On. seine Angaben sehr rasch und die Erkennung dieser Farbe kam ihm ganz selbstverständlich vor; erschien dagegen am Kreisel Blau oder Violett, dann beobachtete

On. die Farbe lange Zeit, seine Entscheidung war eine zaghafte, er war meistens unentschlossen, was er sagen oder niederschreiben sollte. (Vergl. oben S. 467.)

c) Gleichungen zwischen Gelb, Blau und Violett.

In den zuletzt besprochenen Gleichungen und Versuchen mit Gelb wurden vorsätzlich Blau und Violett vermieden. Es handelt sich, nun wie S. 461 hervorgehoben wurde, folgende Gleichungen zu bilden:

1) zwischen einem Blau (Violett) und einem Gelb;

2) zwischen einem gesättigten Gelb und einem Blau (Violett).

Nach Allem was bis jetzt (vergl. die spectroskopische Untersuchung und die angeführten Farbengleichungen) mitgetheilt wurde, musste nun versucht werden, Gleichungen zwischen einer von On. nicht wahrgenommenen Farbe (Blau, Violett) und einer Farbe (Gelb), für welche On. unterempfindlich ist, zu bilden.

Es sollen zuerst folgende in Tab. XXIII angeführten Gleichungen besprochen werden.

Blau = Schwarz + Gelb (Gl. XIII).

Blau + Gelb = Schwarz + Weiss (Gl. VI, VIII, XXII).

Tabelle XXIII.

Gl. XIII.

Aussen Blau 360° = innen Schwarz 341° (Wollpapier) + 19° Gelb.

4./III. 90. On.: beide dunkelgrau mit gelblicher Färbung [1]).

Pos.: aussen Blau; innen tief dunkelgrau, fast schwarz mit braungrünem Stich.

St.: aussen gesättigtes Blau; innen dunkel olivengrün.

5./III. 90. On.: beide dunkelgrau mit gelblicher Färbung [2]).

8./III. 90. On.: beide ganz gleich graugelblich.

Pos.: aussen himmelblau; innen fast schwarz mit Stich ins Braungrün.

St.: aussen tief blau; innen sehr dunkel gelbgrün.

20./V. 90. On.: beide dunkelgrau, mit gelblicher glänzender Färbung.

Mes.: aussen kräftig blau; innen dunkel schmutziggelb.

---

1) Vor Fixirung dieser Gleichung wird das Gelb vollständig entfernt, so dass nun aussen Blau, innen Schwarz blieb. On. erkannte jetzt die Ungleichheit der beiden Zonen.

2) Bevor ich On. diese Gl. gab, befestigte ich am Kreisel blos eine blaue Scheibe. Mochte nun die Scheibe ruhig oder in Bewegung sein, On. sagte immer, er kenne die Farbe nicht, und er sei nicht im Stande, dieselbe zu bezeichnen.

Gl. VI.

Innen Blau 250° + Gelb 110° = Schwarz (Blumenpapier) 310° + Weiss 50°.

6./II. 90. On.: dunkelgrau mit gelblichem Glanz.

Pos.: innen licht Violett, Stich in Purpur; aussen grau, etwas grünlich.

St.: innen bläulich Violett; aussen dunkel grünlichgrau.

27./II. 90. On.: innen grauröthlich; aussen dunkelgrau.

Pos.: innen röthlichviolett; aussen dunkelgrau mit Stich ins Grün.

St.: innen hellviolett; aussen dunkelgelblich grüngrau.

21./V. 90. On.: gleich grau.

Mes.: innen sehr schmutzigblau; aussen grau.

Gl. VIII.

Aussen Blau 234° + Gelb 126° = innen Schwarz (Wallpapier) 241° 30′ + Weiss 118° 30.

28./II. 90. On.: leicht grau.

Pos.. aussen lichtgrauviolett; innen graugrünlich mit Stich ins Gelb.

St.: aussen violettgrau; innen gelblich grüngrau.

8./III. 90. On.: leicht grau.

Pos.: aussen röthlichgrau mit violett; innen graugrün.

St.: aussen hellgraublau; innen hellgelblich grüngrau.

21./V. 90. On.: leicht grau.

Mes.: aussen blaugrau; innen gelblichgrau.

Gl. XXII.

Aussen Schwarz (Wollpapier) 226° + Weiss 134° = innen Blau 201° + Gelb 159°.

22./IV. 90. On: gleich mittelgrau.

Mes: aussen grau; innen gelblich.

21./V. 90. On.: gleich lichtgrau.

Pos.: aussen lichtgrau; innen lichtbraungrau mit Stich ins Gelb.

Mes.: aussen grau; innen licht schmutziggelb.

Aus Gleichung XIII entnimmt man, dass die Gelbmenge, welche mit Schwarz gemischt werden kann, um für On. die Gleichheit mit Blau zu erzielen, ziemlich klein (19°) ist; geringer als die nöthige Menge Weiss (35°). (Vergl. Tab. XIIa S. 465 Gl. XX.) Beide Zonen erscheinen On. wohl grau aber mit gelblicher Färbung. Nur einmal hat ein Farbentüchtiger (St.) in der inneren Zone (Schwarz + Gelb) eine gelbliche Nüance wahrgenommen, die für den Rothgrünblinden etwas deutlicher hervortrat. Da die Gelbmenge sehr gering ist, so kann diese Gleichung nicht beweisen, dass On. die gelbe Farbe nicht wahrnimmt. Wenn man auch die Anmerkungen in Betracht zieht, so kann diese Gleichung nur dazu dienen, um nochmals zu zeigen, dass On. das Blau als

solches nicht erkennen und benennen kann, und dass diese Farbe für ihn gleich einem Grau ist.

Die drei Gleichungen VI, VIII und XXII zeigen, dass man für On. mit Blau und Gelb einerseits, Schwarz und Weiss anderseits sehr zahlreiche Gleichungen bilden könnte.

Das höchst auffallende Ergebniss dieser drei Gleichungen veranlasste mich zu dem Versuch, ob es möglich sei, eine Gleichung zwischen Blau + Gelb und Schwarz + Weiss + Gelb zu bilden.

Tabelle XXIV.

Gl. I.

Aussen Blau 199° 30′ + Gelb 160° 30′ = innen Schwarz (Blumenpapier) 223° + Weiss 98° + Gelb 39°.

27./I. 90. On.: beide grau.

Pos.: aussen graucrême; innen grünlich.

St.: aussen deutlich graugrün; innen graugrün.

27./II. 90. On.: aussen grau; innen grau, etwas grünlich.

Pos.: aussen gelbgrau mit Stich ins Braun; innen graugrün.

St.: aussen gelbgrau mit grünlichem Schimmer; innen grau, etwas grünlich.

23./V. 90. On.: leicht grau.

Mes.: beide sehr schmutzig lichtgelb; innen eine Spur lichter.

Gl. IX.

Aussen Blau 227° 30′ + Gelb 132° 30′ = innen Schwarz (Wollpapier) 242° 30′ + Weiss 85° + Gelb 32° 30′.

1./III. 90. On.: leicht grau.

St.: aussen violettgrau; innen gelblich grüngrau.

8./III. 90. On.: gleich grau.

Pos.: aussen licht röthlichgrau mit Stich ins Violett; innen graugrün.

St.: aussen hellviolettgrau; innen gelblich graugrün.

23./V. 90. On.: gleich lichtgrau.

Mes.: aussen Grau; innen sehr schmutziggelb.

Gl. XXVII.

Aussen Schwarz (Wollpapier) 244° + Weiss 71° + Gelb 45° = innen Blau 279° + Gelb 81°.

8./XI. 90. On: beide Zonen gleich hellgrau.

Pos.: aussen licht graugelb; innen lila.

St.: schmutzig gelbgrün; innen violett.

Gl. XXVIII.

Aussen Schwarz (Wollpapier) 273° + Weiss 56° + Gelb 31° = innen Blau 324° + Gelb 36°.

8./XI. 90. On.: beide Zonen gleich hellgrau.
St.: aussen schmutzig grünlichgelb; innen blau mit violettem Schimmer.

In der That konnten, wie obige Tab. XXIV darthut, vier Gleichungen gebildet werden, in denen On. beide Zonen fast immer als grau bezeichnete. Selbstverständlich hätte man die Zahl dieser Gleichungen noch weiter vermehren können.

Es wurde nun eine Gleichung zwischen Blau + Gelb und Schwarz + Gelb zu bilden versucht.

Eine solche Gleichung gelang mir nicht, da On. in der Mischung Schwarz und Gelb jedesmal etwas gelbliches sah, während in der Mischung Blau und Gelb letztere Farbe nur dann von ihm gesehen wurde, wenn dieselbe in grösserer Menge vorhanden war, sonst bezeichnete er die Mischung als grau. Wahrscheinlich wäre es möglich gewesen für On. bei einer wesentlichen Vermehrung des Gelben auf der Seite des Blauen ein Gelb zu bilden, welches einem gleich ist, das aus der Mischung Schwarz und Gelb hervorgeht; eine solche Gleichung hätte aber nichts anderes bewiesen, als dass On. Gelb sieht, was auch aus allen übrigen Beobachtungen hervorgeht.

Weiter bestrebte ich mich zwischen Blau + Weiss und Gelb + Schwarz eine Gleichung herzustellen, was jedoch, wie aus den in Tab. XXV angeführten Resultaten hervorgeht, nicht gelang.

Tabelle XXV.

		Angaben von On.	
I.	Aussen Gelb 20° + Schwarz 340°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 117° + Blau 243° grau	mit unbekannter Farbe	
II.	Aussen Gelb 20° + Schwarz 340°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 71° + Blau 289°	unbekannte Farbe	
III.	Aussen Gelb 20° + Schwarz 340°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 34° + Blau 326°	unbekannt	
IV.	Aussen Gelb 12° + Schwarz 348°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 17° + Blau 343°	unbestimmt, unbekannt	
V.	Aussen Gelb 12° + Schwarz 348°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 19° + Blau 341°	unbekannt	
VI.	Aussen Gelb 12° + Schwarz 348°	gelblich	ungleich.
	Innen Weiss 25° + Blau 335°	unbekannt	

Wenn zu Schwarz auch nur 12° Gelb gegeben wurden, fand On. immer die beiden Zonen ungleich und bezeichnete die Farbe der äusseren als gelblich.

Die eben angeführten verschiedenen Resultate sind sehr räthselhaft. Die Mischung Schwarz und Gelb wird von On. als gelblich bezeichnet, wenn auch die Menge des Gelben sehr gering ist (vergl. auch später S. 498); in der Mischung Blau und Gelb dagegen, wenn auch letztere Farbe in grosser Menge (in den bis jetzt mitgetheilten Versuchen bis 159°) vorkommt, wird das Gelb nicht gesehen, wie man hätte erwarten sollen, nachdem On. das Blau bei der spectroskopischen Untersuchung und den früher besprochenen Gleichungen nur als Grau sieht. On. hat wohl, wie schon oft erwähnt, eine etwas verminderte Empfindlichkeit für Gelb, aber nur für den Fall, wenn diese Farbe mit viel Weiss gemischt wird, wie aus den später anzuführenden Versuchen deutlich hervorgehen wird. (Vergl. S. 490.)

Ich habe es nun nicht für überflüssig erachtet, jene Grenze wenigstens annäherungsweise zu ermitteln, bei welcher die Mischung Blau und Gelb für On. gelblich wird; selbstverständlich musste diese Grenze auch für einen Farbentüchtigen ermittelt werden. Der Versuch ergab nun, dass die Mischung Blau und Gelb dem farbentüchtigen (Pos.) als Grau mit sehr geringem Stich ins Violett erschien, wenn die Gelbmenge ungefähr 136—140° betrug; nachher bis mit ungefähr 151—155° Gelb nahm er die Mischung als Grau wahr, und von nun an als gelblich, wobei die Intensität mit Zunahme der Menge des Gelben wuchs. Ganz gleiche Beobachtungen nahm ich mit On. vor. Die erhaltenen Resultate sind in folgender Tab. XXVI zusammengestellt.

Tabelle XXVI.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Nach der Gelbmenge geordnet und Angabe von On.:	
2.	Gelb 67°	hellgrau
9.	„ 110°	„
11.	„ 113°	„
8.	„ 125°	grau mit schwacher röthlicher Färbung.
10.	„ 143°	grau.
7.	„ 150°	„
1.	„ 166°	„
12.	„ 173°	„
4.	„ 177°	„
5.	„ 185°	„
15.	„ 185°	„

Wie die Beobachtungen sich folgen:	Nach der Gelbmenge geordnet und Angabe von On.:
14.	Gelb 195° grau mit gelblicher Färbung.
6.	„ 198° grau mit zweifelhafter gelblicher Färbung.
13.	„ 213° grau mit gelblicher Färbung.
3.	„ 227° schmutzig gelb.

Aus vorstehender Tabelle ergiebt sich, dass für On. bis 185° Gelb zu Blau gemischt werden können, ohne eine andere Empfindung als Grau hervorzurufen, und erst mit 185—195° Gelb tritt bei ihm jene des Gelben auf. Der Farbentüchtige hatte schon diese Empfindung, als die Gelbmenge 151—155° betrug, woraus sich ein Unterschied von 34—40° ergiebt.

Da es bei diesen Versuchen nicht auf sehr genaue Zahlen ankommt, so genügen die erhaltenen, um im Zusammenhange mit den vorher (S. 478) besprochenen Gleichungen zu zeigen, dass bei On. eine nicht kleine Menge des von ihm gesehenen Gelb nothwendig ist, um das von ihm nicht gesehene Blau zu neutralisiren, und erst wenn die Gelbmenge etwas grösser ist, als bei einem Farbentüchtigen, hat auch On. die Empfindung des Gelben.

Man könnte es vielleicht als nicht hinreichend vorsichtig finden, dass ich mich bei diesem Versuch bloss auf die Farbenangabe On.'s verliess. Die mitgetheilten und die noch mitzutheilenden Beobachtungen haben mir aber gezeigt, dass On. das von ihm wirklich gesehene Gelb ohne Ausnahme sehr schnell und richtig bezeichnet, ausserdem haben die vorhergehenden Gleichungen (S. 465) bewiesen, dass Blau oder Violett von On. mit Grau gleich gesetzt wird. Bei den in Rede stehenden Versuchen konnte ich mich daher vollständig auf seine Angaben verlassen, um so mehr, als On. durchaus nicht wusste, welche Farben sich am Kreisel befanden.

Dieser Versuch bestätigt die Beobachtungen mit den Gleichungen, lässt aber ganz im Unklaren, wie es komme, dass On. bei der Mischung Blau und Gelb sich näherungsweise wie ein Farbentüchtiger verhalte, nämlich wieso das Gelb das von ihm als Grau gesehene Blau neutralisiren könne. Nachdem On. Blau in gar keiner Sättigung als solches, sondern als Grau sieht, so hätte die Empfindung des Gelben bei ihm bedeutend früher hervortreten sollen, als bei einem Farbentüchtigen.

d) Gleichungen für Purpur.

Schliesslich blieb noch zu untersuchen, wie On. Purpur sieht. Aus später mitzutheilenden Beobachtungen kann man fast mit Sicherheit schliessen, dass On. das Purpur als Roth sieht; alle Versuche, um dieses Roth am Kreisel zu finden, blieben resultatlos.

On. hat Purpur immer als Roth bezeichnet und auch die Gleichung, welche in Tab. XXIX angeführt ist, zeigt, dass On. dunkelpurpur als Roth benennt.

Tabelle XXIX.

Gl. e.

Aussen Purpur 342° 30′ + Schwarz (Blumenpapier) 17° 30′ = innen Roth 198° + Blau 162°.

27./II. 90. On.: innen roth; aussen roth, etwas heller.

Pos.: innen purpurroth; aussen roth mit Stich in Purpur; beide fast gleich; aussen minimal dunkler.

St.: innen purpurroth mit violettem Schimmer; aussen roth, etwas heller.

20./V. 90. On.: beide Zonen dunkelroth.

Mes.: aussen schmutzigblau; innen um eine feinste Nüance dunkler.

23./V. 90. On.: beide Zonen gleich dunkelroth.

Mes.: beide Zonen schmutzigblau; innen etwas lichter.

Dieselbe giebt aber keine Auskunft, mit welchem Roth das von On. gesehene Purpur verglichen werden kann. Diese Gleichung habe ich ursprünglich für mich gebildet, und wie die in obiger Tab. XXIX mitgetheilten Angaben beweisen, gilt dieselbe auch nahezu für andere Farbentüchtige. Man kann sogar behaupten, dass dieselbe auch für den Rothgrünblinden bestehen bleibt, da dieser beide Zonen als beinahe vollkommen gleich bezeichnete; er sprach die Farbe entsprechend seinem Fehler als Blau an.

Es soll hier noch einmal auf Gleichung XIV in Tab. XVI S. 469 verwiesen werden; in derselben wurde ein Purpurviolett erzeugt, welches On. bald mit Grau identisch hielt, bald als grauröthlich bezeichnete.

Man kann auch die Gleichungen III und XII in Tab. XVI berücksichtigen, in welchen aber das Violett vorherrschend ist und die Purpurfarbe stark zurücktritt; aus Gl. XII lässt sich jedoch entnehmen, dass On. das Rosaviolett als Grauroth wahrnimmt.

4) Gleichungen für Farbentüchtige.

Zuletzt untersuchte ich, wie die Farbenblinden sich Gleichungen gegenüber verhalten, die für Farbentüchtige zusammengestellt sind.

Diese Gleichungen hatte ich für mich selbst gebildet. Ich legte dieselben auch anderen Farbentüchtigen vor und es zeigte sich, dass diese wohl ganz kleine Unterschiede zwischen beiden Zonen fanden. Der Grund kann ein zweifacher sein:

1) stellte ich mir die Gleichungen zusammen, indem ich selbst den Kreisel drehte und die Papiere, so weit es nöthig war, verschob; es konnten mir somit kleine Unterschiede entgangen sein; 2) ist es bekannt, dass eine Farbengleichung, welche für einen gilt, für den anderen nicht immer ihre Giltigkeit behält.

Die Beobachtungen an den Farbenblinden zeigten, dass diese Gleichungen auch für jene ihre Giltigkeit behielten; nur der Rothgrünblinde fand, dass jene Zone, in welcher Roth oder Grün allein, oder gemischt vorkommen, eine Spur von Gelb besass. Ich erachte es daher für überflüssig, diese Gleichungen hier anzuführen und beschränke mich in folg. Tab. XXX bloss eine Gleichung mitzutheilen.

Tabelle XXX.

Gl. f.

Aussen Schwarz (Blumenpapier) 246° + Weiss 56° 30′ + Gelb 57° 30′ = innen Roth 208° + Grün 152°.

27./II. 90. On.: innen gelb; aussen gelb, etwas heller.

Pos.: innen grün mit Stich ins Gelb; aussen bräunlichgelb mit Stich ins Grünliche.

St.: innen gelbgrün; aussen gelbgrün, etwas heller.

8./III. 90. On.: gleich, schmutziggelblich.

Pos.: aussen lichtgrüngelb; innen gelbgrün.

St.: aussen hellgrünlichgelb; innen hellgelblichgrün.

23./V. 90. On.: gleich schmutziggelb.

Mes.: beide Zonen gleich schmutziggelb; innen eine Spur dunkler.

Am Farbenkreisel gelang es also Roth und Grün so mit einander zu mischen, dass laut Angabe der Farbentüchtigen ein Gelbgrün entstand, welches eine Aehnlichkeit mit einer Mischung Gelb + Schwarz + Weiss hatte. Beide Farbenblinden fanden die zwei Zonen schmutzig gelb. Wenn nun der Blauviolettblinde das Gelb nicht thatsächlich sehen würde, so hätte er die Gleichheit nicht finden können.

V.

Grenzen der Empfindlichkeit für Farbennüancen.

Es war von Interesse zu ermitteln, wie viel von Schwarz, Roth, Gelb, Grün, Blau oder Violett mit Weiss gemischt werden kann, bis On. in der Lage war entweder eine von Weiss bestimmt verschiedene graue Nüance, oder eine Farbe zu sehen.

Die Versuche wurden folgendermaassen vorgenommen.

Zwei gleichfarbige Papierscheiben (dieselben wie für die Farbengleichungen) werden in geeigneter Weise mit dem früher angeführten Documenten-Gummipapier zusammengeklebt, damit die Farbe durch die darunter liegende weisse Scheibe nicht blässer erscheine. Diese farbigen Scheiben sind ausserdem um 1 bis 2 mm kleiner als die entsprechenden weissen, um keine farbigen Säume zu bekommen. Am Kreisel wird zuerst eine grosse weisse Barytpapierscheibe, dann die kleine farbige, welche man durch den Schlitz einer kleinen weissen (Barytpapier) Scheibe durchsteckte, angebracht. Man hatte daher aussen beständig eine weisse, innen aber eine Zone, deren Farbe man von Weiss an beliebig ändern konnte. Die Vergleichung geschah somit zwischen der inneren und äusseren Zone. Die übrigen Versuchsbedingungen waren genau die gleichen, wie bei der Bildung der Farbengleichungen.

Diese Einrichtung zur Ermittelung der Empfindlichkeitsgrenze für die einzelnen Farben ist wohl etwas verschieden von jener Aubert's[1]), stimmt aber, wie ich aus der Abhandlung Leber's[2]) entnehme, mit der von E. Landolt angewandten überein.

Es kam mir dabei überhaupt nicht so sehr auf Aufstellung absoluter Werthe an; es genügte mir, unter gleichen Verhältnissen Vergleichsversuche zwischen On. und den zwei Farbentüchtigen zu besitzen.

Die Grösse des farbigen Sectors wurde selbstverständlich von Beobachtung zu Beobachtung verändert und nicht selten wurden auch Vexirversuche eingeschaltet. Um jede irgendwie mögliche Beeinflussung von Seite des Experimentators auszuschliessen, musste der Beobachter seine Angabe niederschreiben, die von jenem dann

1) H. Aubert, Physiologie der Netzhaut. Breslau 1864, S. 132.

2) Leber, Handbuch der gesammten Augenheilkunde von A. Gräfe und F. Saemisch. Bd. V. 1877.

erst gelesen wurde, als der Untersuchte sich entfernt hatte. Dem Beobachter war dabei weder die Farbe noch deren Menge bekannt. Die übrigen Versuchsbedingungen waren genau dieselben wie bei der Bildung der Farbengleichungen.

In folgenden Tabellen gebe ich nur die Versuchsprotokolle mit On. ausführlich an, für die Farbentüchtigen begnüge ich mich mit dem Hinweis auf das Endresultat.

Grau.

Tabelle XXXI.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Schwarz geordnet und	Angabe von On.:
8.	0°	weiss.
9.	0°	„
6.	3°	fast weiss.
12.	3°	„ „
10.	4°	„ „
7.	5°	dunkler als die äussere Zone.
3.	6°	„ „ „ „ „
4.	7°	fast wie die äussere Zone.
13.	7°	dunkler als die äussere Zone.
1.	9°	weiss.
11.	10°	dunkler als die äussere Zone.
5.	12°	sehr hell grau.
12.	13°	dunkler als die äussere Zone.

Grau. Aus vorstehender Tab. XXXI ist ersichtlich, dass für On. eine sehr geringe Menge Schwarz (3 bis 5°) genügt, um einen wenn auch nur geringen Unterschied zwischen der äusseren und inneren Zone bemerkbar zu machen. Da die Menge des Schwarz sehr klein ist, so habe ich die Wiederholung dieses Versuches mit Farbentüchtigen für überflüssig erachtet. Masson fand nämlich mit rotirenden Scheiben, dass bei schwachem Gesicht zuweilen nur Unterschiede von $^1/_{50}$ erkannt wurden, bei guten Augen zuweilen auch noch weniger als $^1/_{120}$.

Helmholtz[1]), von welchem ich diese Angabe entnehme, fügt hinzu, dass die Messungen mit den rotirenden Scheiben grosse Vorsicht erfordern (S. 386). Er führt wohl später (S. 391) seine

1) H. von Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Zweite umgearbeitete Auflage 1889. V. Lieferung.

älteren Beobachtungen an, mit der Bemerkung jedoch, dass er in dieselben nicht mehr volles Vertrauen setze. Damals konnte Helmholtz in der Mitte des Zimmers nur Ränder von $^1/_{117}$ Unterschied wahrnehmen, den von $^1/_{133}$ nur selten und unbestimmt.

Meine Versuche sind aber hinreichend verlässlich um behaupten zu können, dass On. noch einen Unterschied von gewiss $^1/_{90}$ bis $^1/_{120}$ wahrnahm und dass somit sein Lichtsinn nicht geschwächt ist.

Es kann vielleicht als abnormal erscheinen, dass On. bei 9° Schwarz den Unterschied zwischen beiden Zonen nicht wahrnahm; es war aber die erste Beobachtung dieser Reihe, und es ist daher denkbar, dass dem Untersuchten der Unterschied nicht allsogleich auffiel; ein solcher Fehler kam nachher in der ganzen Reihe nicht mehr vor.

Roth.

Tabelle XXXIIa.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Nach der Menge von Roth geordnet und Angaben von On.:	
3.	4°	schwach grau.
4.	7°	„ „
5.	8°	„ „
7.	8°	„ „
2.	9°	schwach röthlich.
8.	10°	„ „
6.	11°	grau und schwach röthlich.
1.	12°	schwach röthlich.

Grenze 8—9°.

Tabelle XXXIIb.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Roth geordnet und Angaben von On.:	
4.	0°	weiss.
3.	2°	fast weiss.
1.	5°	„ „
6.	6°	etwas dunkler als die äussere Zone.
2.	7°	fast weiss.
7.	8°	etwas dunkler als die äussere Zone.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Roth geordnet und Angaben von On.:	
5.	9°	grau mit zweifelhafter Farbe.
10.	9°	schwach röthlich.
11.	9°	„ „
8.	10°	grau mit zweifelhafter Farbe.
9.	12°	schwach röthlich.

Grenze 9°—10°.

Roth. Für die zwei Farbentüchtigen fand ich die Grenzen:
für Pos. zwischen 4—5°
für St. zwischen 4—7°.

Aus den Tab. XXXIIa, b entnimmt man, dass von On. mit 2 bis 3° Roth das Weisse der inneren Scheibe verschieden von jenem der äusseren gefunden wurde; aber erst wenn die Rothmenge 9 bis 10° betrug, trat bei ihm die Empfindung des Rothen auf. Man muss daraus schliessen, dass er im Vergleiche zu den Farbentüchtigen eine unwesentliche Herabsetzung der Empfindlichkeit für Roth kundgab.

Gelb.

Tabelle XXXIIIa.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Gelb geordnet und Angaben von On.:	
5.	7°	weiss.
10.	9°	„
1.	10°	„
6.	12°	„
9.	13°	schwach gelblich.
7.	14°	weiss.
11.	14°	„
4.	15°	schwach gelblich.
12.	16°	„ „
2.	18°	„ „
3.	18°	„ „
8.	18°	„ „

Grenze 13—15°.

Tabelle XXXIIIb.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Gelb geordnet und Angaben von On.:	
1.	10⁰	weiss.
2.	17⁰	„
4.	20⁰	„
3.	23⁰	schwach gelblich.
5.	23⁰	sehr schwach grau.
7.	24⁰	etwas dunkler als die äussere Zone.
6.	26⁰	sehr schwach gelblich.

Grenze für On 23—26⁰.

Tabelle XXXIIIc.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Gelbmenge geordnet und Angaben von On.:	
1.	13⁰	weiss.
2.	19⁰	Färbung zweifelhaft.
3.	22⁰	„ „
6.	22⁰	„ „
4.	23⁰	„ „
7.	24⁰	gelbliche Färbung.
8.	25⁰	zweifelhafte Färbung.
10.	27⁰	zweifelhaft gelblich.
5.	28⁰	schwach gelblich.
9.	29⁰	„ „

Grenze 24—28⁰.

Gelb. Für die beiden Farbentüchtigen genügten folgende Mengen Gelb, um die Empfindung des gelblichen hervorzurufen:

Pos. zwischen 7—9⁰,
St. zwischen 8—10⁰.

Mit On. habe ich drei Versuchsreihen vorgenommen, und deren Ergebnisse in den vorstehenden Tab. XXXIII a, b, c, zusammengestellt.

Wenn man von Versuch XXXIII a absieht, der aus mir unbekannten Gründen verhältnissmässig niedrige Zahlenwerthe lieferte, die immerhin aber höher sind, als die bei Farbentüchtigen gefundenen, stimmen die zwei anderen XXXIII b, c ziemlich gut überein.

Bis 19° Gelb ungefähr findet On. keinen Unterschied zwischen beiden Zonen; von 19° an bis ungefähr 25° ist die Färbung zweifelhaft, hie und da gelblich; von 26° an tritt die gelbe Färbung auf.

Eine Gleichung (vergl. auch oben S. 471 u. f.) zwischen Gelb + Weiss einerseits und Weiss anderseits hätte daher gebildet werden können, wenn man ungefähr 17 bis 19° Gelb mit Weiss gemischt hätte. Die Quantität des Gelben ist gewiss zu klein, um behaupten zu können, dass On. Gelbblind ist; wohl aber führen uns diese Versuche mit hinreichender Sicherheit darauf, dass On. für Gelb etwas unterempfindlich ist, womit auch alle mit dieser Farbe bei ihm vorgenommenen Beobachtungen übereinstimmen.

Grün.

Tabelle XXXIVa.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Grün geordnet und Angaben von On.:	
1.	7°	weiss.
2.	14°	schwache unbekannte Färbung.
3.	16°	schwache zweifelhafte Färbung.
5.	19°	schwache unbekannte Färbung.
7.	19°	„ „ „
6.	20°	schwache grünliche Färbung.
8.	21°	schwache unbekannte Färbung.
4.	22°	schwache grünliche Färbung.
9.	23°	schwache unbekannte Färbung.
11.	24°	„ „ „
13.	24°	„ „ „
12.	28°	schwache grünliche Färbung.
10.	29°	„ „ „

Grenze zwischen 20—28°, wahrscheinlich erst bei 28°.

Tabelle XXXIVb.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Grün geordnet und Angaben von On.:	
2.	5°	weiss.
12.	7°	etwas dunkler als die äussere Zone.
1.	11°	vielleicht eine Färbung.
11.	11°	fast wie die äussere Zone.
3.	12°	dunkler als die äussere Zone.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Grün geordnet und Angaben von On.:
4.	[illegible] schwach grau.
[illegible]	[illegible] „ „
[illegible]	[illegible] „ „
[illegible]	[illegible] grau mit unbestimmter Färbung.
[illegible]	[illegible] schwach grau.
7.	[illegible] grau zweifelhaft grün.
[illegible]	[illegible] grau mit unbestimmter Färbung.
[illegible]	[illegible] schwach grünlich.
[illegible]	[illegible] „ „
[illegible]	[illegible] zweifelhaft grünlich.
[illegible]	[illegible] schwach grünlich.

Grenze [illegible].

Grün. Für Farbentüchtige habe ich bezüglich dieser Farbe nur die Beobachtungen an St. bei welchem die Empfindlichkeitsgrenze zwischen 1° 30′ und 3° lag, vorgenommen.

Die an On. gemachten Beobachtungen habe ich in obigen Tab. XXXIV a, b zusammengestellt, aus denen man entnimmt, dass ungefähr mit 7—8° Grün ein Unterschied zwischen beiden Zonen, von da an bis 24 oder 25° entweder grau allein oder eine unbekannte Farbe, oder in sehr seltenen Fällen eine schwache grünliche Färbung wahrgenommen wird; erst von 3[illegible]° an tritt deutlich die Empfindung des Grünen auf. Daraus lässt sich wohl auf eine Unterempfindlichkeit On.'s für Grün schliessen, deren Grad mit jenem für Gelb ziemlich gut übereinstimmt.

Es darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass, wie schon bei einer anderen Gelegenheit mitgetheilt wurde, das grüne Papier einen Stich ins Gelbe besitzt.

Blau.

Tabelle XXXV a.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Blau geordnet und Angaben von On.:
1.	10° grau sehr schwach.
2.	22° grau etwas deutlicher.
3.	33° grau.
5.	3[illegible]° „
6.	43° „
7.	47° „

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Blau geordnet und Angaben von On.:	
4.	50°	grau mit unbekannter Färbung.
9.	53°	grau.
8.	54°	grau mit unbekannter Färbung.
10.	58°	„ „ „ „

Tabelle XXXV b.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Menge von Blau geordnet und Angaben von On.:	
2.	5°	weiss.
3.	7°	dunkler als die äussere Zone.
1.	8°	„ „ „ „ „
4.	8°	„ „ „ „ „
5.	43°	grau.
6.	72°	deutlich grau.
16.	78°	„ „
15.	87°	grau mit röthlicher Färbung.
17.	88°	grau, zweifelhaft röthlich.
18.	96°	grau mit röthlicher Färbung.
11.	100°	dunkelgrau.
7.	102°	grau mit röthlicher Färbung.
8.	102°	„ „ „ „
14.	103°	„ „ „ „
12.	105°	„ „ „ „
13.	108°	grau.
10.	114°	sehr dunkelgrau.
9.	148°	„ „

Blau. Für einen Farbentüchtigen (Pos.) war die Empfindlichkeitsgrenze 6 bis 8°.

Mit On. nahm ich zwei Versuchsreihen vor, deren Ergebnisse in den vorstehenden Tab. XXXV a, b zusammengestellt sind.

Aus Tab. XXXV b entnimmt man, dass 7° Blau genügen, damit beide Zonen als verschieden erkannt werden; dieser Zahlenwerth stimmt mit jenem für Grün ziemlich gut überein. Bei Vermehrung des Blau tritt das Grau immer deutlicher hervor, nur hie und da (vergl. Tab. XXXV a) hat On. die Empfindung einer Farbe, die er nicht im Stande ist zu bezeichnen. Erst bei einer Blaumenge von 87° (siehe Tab. XXXV b) gibt On. an, dass er eine röthliche Färbung wahrnehme, die auch noch bei weiterem Zumischen von Blau anhält. Sobald die Blaumenge 108° beträgt,

verschwindet diese Empfindung und tritt jene des Grau wieder ein. Wie lang diese bei weiterer Zugabe von Blau noch anhält, habe ich nicht untersucht.

Es liegt die Vermuthung nahe, dass sich On. bezüglich der von ihm angegebenen röthlichen Färbung geirrt habe; ich glaube aber jede Täuschung ausschliessen zu können und zwar aus folgenden Gründen:

Betrachtet man die Zahlen in der ersten Reihe der Tab. XXXV, so wird man sehen, dass die Veränderungen in der Blaumenge sehr unregelmässig vorgenommen wurden, um eben jeden Vergleich mit der vorhergehenden Wahrnehmung auszuschliessen. Es ist weiter zu bemerken, dass eine ähnliche Erscheinung bei anderen Versuchen ebenfalls beobachtet wurde. Schon bei den ersten mit dem Farbenkreisel angestellten Beobachtungen fiel mir nämlich auf, dass On. beim Mischen von Blau und Weiss nicht selten angab, eine grünliche oder eine röthliche Nüancirung zu sehen. Ich fand mich daher veranlasst, noch einen Versuch vorzunehmen, dessen Ergebnisse in Tab. XXXV c angeführt sind; dabei wurde am Kreisel bloss ein blaues und ein weisses Papier angebracht.

Tabelle XXXVc.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Weissmenge geordnet und Angaben von On.:
5.	W. 65° + Bl. 295° dunkelgrün ohne Roth.
7.	W. 73° + Bl. 287° grün ohne Roth.
10.	W. 73° + Bl. 287° „ „ „
6.	W. 84° + Bl. 276° grün mit schwacher rother Färbung.
4.	W. 87° + Bl. 273° vorherrschend grün, schwach röthliche Färbung.
11.	W. 87° + Bl. 273° grün mit schwacher röthlicher Färb.
8.	W. 103° + Bl. 257° grün mit zweifelhafter rother Färb.
2.	W. 110° + Bl. 250° röthlich-grünlich.
3.	W. 125° + Bl. 235° blassroth ohne grüne Färbung.
9.	W. 133° + Bl. 227° röthliche Färbung ohne Grün.
1.	W. 240° + Bl. 120° schwachröthliche Färbung.

Es ist durchaus nicht auffallend, dass On. dunkelblau als grün bezeichnet, es stimmt dies mit den Verwechselungen, die er beim Aufsuchen der Wolle macht, überein; ebenso steht es mit den in Tab. XXXV b mitgetheilten Wahrnehmungen im Einklang, wenn er gewisse Mischungen von Blau und Weiss als röthlich angibt; dagegen ist es höchst auffallend, dass er andere Mischungen

von Blau und Weiss als grün mit schwacher röthlicher Färbung oder als röthlich grün bezeichnet.

Violett.

Tabelle XXXVI a.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Violettmenge geordnet und Angaben von On.:	
1.	28°	grau.
5.	31°	„
7.	32°	„
2.	33°	grau mit unbekannter Färbung.
6.	33°	grau.
8.	36°	grau mit zweifelhafter Färbung.
3.	37°	grau.
4.	37°	grau mit unbekannter Färbung.
9.	47°	grau.
12.	53°	„
10.	65°	grau mit unbekannter Färbung.
11.	90°	unbekannte Färbung.

Eine Angabe der Grenze ist unmöglich.

Tabelle XXXVIb.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Violettmenge geordnet und Angaben von On.:	
2.	9°	weiss.
3.	11°	zweifelhaft ob grau.
15.	11°	weiss.
16.	11°	zweifelhaft ob grau.
4.	15°	leicht grau.
1.	16°	sehr hellgrau.
14.	19°	„ „
5.	35°	grau ohne Färbung.
6.	43°	deutlich grau.
7.	58°	„ „
8.	90°	grau mit unbekannter Färbung.
11.	105°	grau ohne Färbung.
12.	111°	grau mit sehr zweifelhafter Färbung.
9.	130°	grau mit röthlicher Färbung.
13.	137°	„ „ „ „
10.	175°	grau mit unbekannter Färbung.

Tabelle XXXVIc.

Am Kreisel befand sich bloss ein weisses und ein violettes Papier.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Violettmenge geordnet und Angaben von On.:
1.	W. 235° + V. 125° kaum sichtbare röthliche Färbung.
2.	W. 210° + V. 150° schwache röthliche Färbung, deutlicher jedoch als vorher.
3.	W. 135° + V. 225° deutliche röthliche Färbung.
4.	W. 58° + V. 302° röthliche Färbung, gesättigter als vorher.
5.	W. 16° + V. 344° kenne die Farbe nicht.

Violett. An Farbentüchtigen habe ich keine Beobachtungen gemacht.

Die Ergebnisse bei On. sind aus Tab. XXXVI a, b, c zu ersehen.

Mit 11° Violett beginnt die Empfindung von Grau. Wenn die Violettmenge vermehrt wird, dann hat On. hie und da die Empfindung einer Farbe, deren nähere Bezeichnung er nicht zu geben vermag. Die Grenze, bei welcher diese unbestimmte Farbe auftritt, lässt sich wenigstens aus den zwei vorliegenden Versuchen nicht angeben.

Auch bei diesen Untersuchungen zeigte sich die Erscheinung, dass eine gewisse Mischung von Violett und Weiss bei On. die Empfindung des Röthlichen hervorrief und, wie aus dem in Tab. XXXVI c mitgetheilten Versuch ersichtlich, wenn 150° bis 302° Violett zu Weiss gemischt wurde.

Da On. gewisse Mischungen von Blau oder von Violett mit Weiss als röthlich bezeichnete, so bemühte ich mich einige Male, aber vergebens, mit Roth durch Zumischen von Weiss und Schwarz eine Gleichung mit Blau oder Violett und Weiss herzustellen und zwar derart, dass beide Zonen eine gleiche röthliche Färbung hätten.

Aus den eben mitgetheilten Beobachtungen ergab sich, dass On. für Roth eine kleine, für Gelb eine grössere Unterempfindlichkeit besitzt. Ich untersuchte deshalb, wie On. sich diesen zwei Farben gegenüber verhalte, wenn dieselben mit Schwarz gemischt werden.

Die Versuche sind den bis jetzt besprochenen ähnlich eingerichtet, nur dass bei den jetzt folgenden Beobachtungen die äussere

Zone aus schwarzem Wollpapier bestand, und statt der kleinen weissen Scheiben ebensolche schwarze aus demselben Papier verwendet wurden.

Roth.

Tabelle XXXVII.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Rothmenge geordnet und Angaben von On.:	
5.	0° 30′	schwarz.
3.	1°	sehr leicht röthlich, zweifelhaft.
2.	1° 30′	röthlich, zweifelhaft.
12.	1° 30′	sehr leicht röthlich, zweifelhaft.
1.	3°	röthlich, zweifelhaft.
4.	3°	„ „
6.	4°	„ „
8.	4°	„ „
9.	5°	„ „
10.	5°	„ „
7.	7°	röthlich.
11.	8°	grauröthlich.

Roth. In vorstehender Tab. XXXVII habe ich die mit Roth erhaltenen Resultate zusammengestellt, aus welchen man entnimmt, dass On. schon mit 1° Roth eine röthliche Färbung sah, die er als zweifelhaft bezeichnete. Ebenso benannte er in der Versuchsreihe bis zu 7° Roth immer die Farbe als eine zweifelhaft röthliche; da er dabei niemals einen Fehler machte ist wohl der Schluss gerechtfertigt, dass On. Roth unter den gegebenen Verhältnissen schon in sehr geringer Quantität erkennt und richtig benennt.

Gelb.

Tabelle XXXVIII.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Gelbmenge geordnet und Angaben von On.:	
1.	4°	heller, ungewiss ob farbig.
5.	5°	„ „ „ „
6.	5° 30′	grau, mit zweifelhafter Farbe.
2.	6°	heller, ungewiss ob farbig.
8.	6°	grau, mit zweifelhafter Farbe.
3.	7°	dunkelgrau, ungewiss ob farbig.

Wie die Beobachtungen sich folgten:	Die Beobachtungen nach der Gelbmenge geordnet und Angaben von On.:	
4.	7°	grau, schwach gelblich.
7.	8°	grau, schwach gelblich.
Am selben Tage wurde der Versuch noch einmal wiederholt.		
1.	2°	heller als die äussere.
2.	3°	heller, ungewiss ob farbig.
3.	5°	schmutzig gelblich.
4.	5°	heller, ungewiss ob farbig.
5.	5°	„ „ „ „
6.	6°	ungewiss über die Farbe.
7.	8° 30′	grau, schwach gelblich.

Gelb. Der Farbentüchtige wie auch der Rothgrünblinde erkannten die gelbliche Färbung, wenn die Menge des Gelb auch nur 1° oder wenig darüber betrug. On. fand wohl (wie aus vorstehender Tab. XXXVIII ersichtlich) bei 2° Gelb eine Verschiedenheit zwischen der inneren und äusseren Zone. Ich konnte die Gelbmenge bis 6° vermehren, ohne dass er mit Sicherheit eine Färbung erkannt hätte, erst bei 7° Gelb nahm er eine graue, schwach gelbliche Färbung wahr.

Aus diesem Ergebnisse lässt sich wieder schliessen, dass On. nur eine Unterempfindlichkeit für Gelb hat. Die Mischung Gelb + Schwarz wird aber von On. bedeutend leichter als gelblich wahrgenommen, als jene von Gelb + Weiss.

VI.

Holmgren's Wollprobe

1) Beobachtungen an dem Blau-Violett-Blinden.

Die Wollprobe nach Holmgren hat bekanntlich bei Massenuntersuchungen eine grosse Bedeutung, sie lässt sich aber auch sehr vortheilhaft mit anderen Untersuchungsmethoden verbinden, wie dies zuerst für die Spectraluntersuchung Magnus[1]) und Cohn[2]) gethan haben.

1) H. Magnus, Zur spectroskopischen etc. cit. S. 450.

2) H. Cohn, Ueber die spectroskopischen etc. cit. S. 450.

Es ist wohl selbstverständlich, dass ich mich bei dieser Probe nicht an die drei von Holmgren angegebenen Farben halten konnte, sondern den Farbenblinden, besonders On. sehr verschiedene Farbenmuster vorlegen musste.

Die mit Holmgren's Wollprobe erhaltenen Resultate sind in folgender Tab. XXXIX mitgetheilt.

Tabelle XXXIX.

Gegeben:

(X.) Purpur: 8 Bündel ausgesucht, wovon 3 purpur in verschiedenen Nüancirungen; 2 dunkelroth und 3 rothbraun.

(I.) Hellrosa. Die Farbe wird alsogleich als rosa bezeichnet. 7 Bündel ausgesucht, wovon 6 rosa oder röthlich in verschiedenen Nüancirungen und 1 sehr hellviolett.

(VII.) Hellrosa, etwas lichter als das vorhergehende. 9 Bündel ausgesucht; davon 4 hellroth (Fleischfarbe); 4 rosa; 1 hellviolett.

(II.) Gelborange (hell); nur zwei gelbliche Bündel.

(IX.) Reines Gelb; 8 Bündel, wovon 4 lichtgelb; 2 bräunlichgelb, 2 lichtbraun.

(VI.) Hellgelb; es werden 5 mehr oder weniger gelbliche Bündel ausgesucht.

(III.) Gelblichgrün; 3 Bündel; wovon 2 hellblaue und 1 grünliches.

(V.) Hellgrün; nur 3 Bündel; 1 dunkelgrün; 1 hellblau und 1 bläulichgrün. On. sucht die Farben mit grösster Aufmerksamkeit, und ist oft mit seiner Wahl nicht zufrieden.

(VIII.) Hellblau; 7 Bündel, davon 4 hellblau; 1 blaugrün, 2 schmutzig graugrün.

(IV.) Violett, hell (lila). On. nannte die Farbe reines aber nicht gesättigtes Roth; 6 Bündel ausgesucht, wovon 2 rosa, 2 hellpurpur, 1 sehr hellroth, 1 violett mit einem Stich ins Roth.

Es sei dazu bemerkt, dass die Probe in der Nähe eines Fensters angestellt und die Musterbündel nicht in der Reihenfolge vorgelegt wurden, wie dieselben in der Tab. angeführt sind, wohl aber wie die in voraus ausgesuchten und bezeichneten Bündel in die Hand kamen, als sie wieder unter die anderen gemengt wurden. Die eingeklammerten Zahlen geben die Ordnung an, nach welcher die Vorlage der Musterbündel geschah. Ausserdem legte ich die 10 in obiger Tab. angeführten Proben nicht alle am selben Tage, sondern an zwei verschiedenen Tagen vor. Ich wollte hiemit die Ermüdung On.'s und jede Beeinflussung seines Urtheils durch die vorher vorgelegten Wollproben vermeiden.

Es zeigen sich nun folgende Verwechselungen:

Purpur mit Roth und Rothbraun;

Rosa mit Hellviolett, und dem entsprechend Hellviolett (Lila) mit Rosa.

Gelblichgrün mit blauen Nüancirungen von Hellgrün und dem entsprechend Hellblau mit grünlichen Nüancirungen.

Beim Vorlegen von Hellgelborange und von Hellgelb machte On. keine Verwechselungen.

Dem reinen Gelb legte On. zwei bräunlichgelbe und zwei lichtbraune Bündel hinzu. Diese Verwechslung machte On. auch bei dem Spiegelversuch. (Vergl. später S. 518, Tab. L subj. Gelb.)

Es wird mit On. auch folgender Versuch vorgenommen: Da, wie aus den früher mitgetheilten Beobachtungen hervorgeht, das Spectrum On.'s dreifarbig ist, so stellte ich ihm die Aufgabe, die 10 Muster — Wollbündel nach seinen 3 Farben zu gruppiren und mir die Namen der einzelnen Farben anzugeben. Er sagte mir, es sei ihm unmöglich nur drei Gruppen, er müsse wenigstens deren vier bilden, was ihm selbstverständlich gestattet wurde.

Die Ergebnisse dieser Beobachtung sind in folgender Tab. XL angeführt. Es sei nur bemerkt, dass ich den richtigen Farbennamen in Klammern zugefügt habe.

Tabelle XL.

I. Gruppe wird von On. als roth bezeichnet, und enthält folgende Wollbündel: 2 rosa (beide rosenroth), 1 sehr dunkelroth (Purpur), 1 grau mit weisslich röthlicher Färbung (hellviolett, lila). On. zögerte sehr, letztes Bündel zu den ersten zuzugeben.

II. Gruppe, von On. gelb benannt; enthält 1 weisslich gelb (lichtgelb); 1 gesättigteres Gelb mit etwas grau gemischt (reines Gelb), 1 etwas gesättigteres Gelb ebenfalls mit grau gemischt (lichtorange).

III. Gruppe, von On. als grün bezeichnet; enthält 1 schön grün (gelblich grün); 1 grün aber nicht rein (hellgrün).

IV. Gruppe, enthält nur ein Bündel, welches von On. als hellgrau (hellblau) bezeichnet wird.

Die eben angeführten Beobachtungen wurden zu einer Zeit, als On. schon die verschiedensten Untersuchungen bestanden hatte, vorgenommen; er hatte somit Gelegenheit gehabt, sich über die verschiedenen Farben und Farbennüancirungen zu unterrichten; man konnte auch leicht merken, dass er jetzt die Aussuchung der Wolle rascher vornahm.

Es dürfte vielleicht nicht ohne Interesse sein, auch die Ergebnisse am Beginne der Untersuchung hier einzuschalten.

Tabelle XLI.

Gegeben:

Gelbgrün: 7 Bündel, alle mehr oder weniger grüngelblich.

Hellroth: 19 Bündel; der Fehler bestand darin, dass darunter einige violette und purpurfarbene sich befanden.

Hellblau: 21 Bündel, davon 11 blau in verschiedenen Nüancirungen und 10 grün, ebenfalls in verschiedenen Nüancirungen.

Grün: 31 Bündel, davon 11 grün in verschiedenen Nüancirungen, 15 blau, ebenfalls in verschiedenen Nüancirungen, 5 theils gelbgrün, theils blaugrün.

Grau, mässig hell: 14 Bündel mit einem mehr oder weniger grauen Ton, der in die verschiedensten Farbennüancen, unter denen aber die rothen vollständig fehlten, spielte.

Blau und zwar dasjenige Wollenbündel, welches sowohl Dr. S. als auch On. am ähnlichsten mit dem Spectralblau bei Gasbeleuchtung bezeichnet hatten. (Siehe oben S. 438 Tab. I.).

Ausgesucht 33 Bündel, da On. die Aufgabe gegeben wurde, alle ähnlichen herauszunehmen. On. theilt nachher diese 33 Bündel in zwei Gruppen.

I. Gruppe besteht aus 21 Bündel und On. sagt, dass diese Bündel die grösste Aehnlichkeit mit den grünen Nüancirungen der Blätter hätten.

In dieser Gruppe fand V. 4 hellblau, 2 graublau, 2 blaugrün, 3 dunkelblau, 5 grüngelb, 1 grün, 1 blau, 1 grünblau, 1 grüngelb, 1 dunkelgrün.

II. Gruppe besteht aus 12 Bündeln; auch die Farbe dieser Bündel bezeichnet On. als grün, jedoch verschieden von jenem der I. Gruppe. In Gruppe II sind nur Nüancirungen des Blau enthalten.

Die Farben der Bündel der I. Gruppe sind nach der Angabe von V. (farbentüchtig) angeführt.

Dr. S. (farbentüchtig) dagegen hat diese 21 Bündel folgendermaassen bezeichnet: 2 entschieden hellblau, 1 dunkelblau mit grünlichem Stich, 3 blaugrün, 3 reingrün in verschiedenen Nüancirungen, 6 dunkel schmutziggrün, 4 gelbgrün in verschiedenen Nüancen, 2 lichtgraugrün.

St. (Farbentüchtig) hinwiederum: 3 gelbgrün (grün dunkel), 2 gelbgrün (grün hell); 4 rein dunkelgrün, 2 hellgrün das ins Bläuliche spielt, 3 dunkelgrün mit blau und gelb, 3 dunkelgrün mit blau; 3 blau in verschiedenen Nüancirungen, 1 hellgrünblau.

Uebereinstimmend mit den Angaben Holmgren's[1]) S. 143 suchte On. für jede vorgelegte Farbe eine grosse Anzahl Bündel

---

1) F. Holmgren, Die Farbenblindheit etc. cit. oben S. 435.

aus. Die von ihm bei dieser Farbe gemachten Verwechslungen stimmen mit den oben angeführten ziemlich gut überein.

Es wäre nur folgendes hervorzuheben:

Zu einer mässig hellgrauen Wolle legte On. graue Bündel hinzu, die wohl auch etwas in andere Farben spielten, die röthlichen Nüancirungen aber fehlten vollständig, was eben besonders zu betonen ist.

Bei Vorlage einer blauen Wolle sucht On. sehr zahlreiche Bündel aus; er ist aber selbst mit seiner Wahl nicht zufrieden und theilt die ausgesuchten Bündel in zwei Gruppen, wovon eine Gruppe (I) mit dem Grün der Blätter verglichen wird; diese Gruppe enthält grüne, blaue und grünblaue Nüancirungen. Die andere Gruppe (II), welche alle Nüancirungen des Blauen enthält, bezeichnete On. ebenfalls als Grün, verschieden aber von jenem der ersten Gruppe, ohne jedoch im Stande zu sein, irgend einen Gegenstand zu bezeichnen, mit dessen Farbe er dieses Grün vergleichen könnte.

Es muss bemerkt werden, dass On. zu den blauen Wollenbündeln niemals ein rein graues hinzusetzte, was um so auffallender ist als es, wie schon ausführlich besprochen wurde, möglich war, für On. am Kreisel eine Gleichung zwischen Blau einerseits und Schwarz und Weiss anderseits herzustellen.

2. Beobachtungen an dem Roth-Grün-Blinden.

Mit dem Rothgrünblinden (Mes.) wurde ebenfalls die Wollprobe nach Holmgren vorgenommen. Demselben wurden die gleichen 10 Bündel vorgelegt, wie vorher On.

Die bei Mes. erhaltenen Resultate sind in folgender Tab. XLII zusammengestellt, in welcher ebenfalls die eingeklammerten Zahlen die Reihenfolge bedeuten, in welcher die Bündel als Muster vorlagen.

Tabelle XLII.

Gegeben:

(II.) Purpur: 13 Bündel, wovon 1 dunkelrosa, 5 violett in verschiedenen Nüancirungen, 1 dunkelblau, 2 blau, 4 hellblau (jedoch nicht sehr hell).

(VII.) Hellrosa: 20 Bündel, davon 6 rosenroth bis Purpur in verschiedenen Nüancen, 4 hellblau, 2 etwas dunkler blau, 4 dunkelblau, 4 violett.

(I.) Hellrosa etwas lichter als das vorhergehende: 15 Bündel, wovon

2 rosa, 1 hellroth, 2 bläulichgrün, 6 blau in verschiedenen Nüancirungen, 2 violett, 2 grau.

(IX.) Gelborange (hell): 19 Bündel, davon 3 hellröthlich grau, 2 sehr hellgelblichgrau, 1 hellgelb, 1 hellgrünlichgelb, 1 gelblichgrün, 2 graugelblich — grün, 2 gelblichbraun, 3 grün, 1 dunkel röthlichgrau, 3 hellbläulich.

(IV.) Reines Gelb: 13 Bündel, davon 2 braun, 2 gelblichbraun; 4 gelblichgrün in verschiedenen Nüancirungen, 1 dunkel gelblichgrün, 1 hellgrün, 3 grüne.

(III.) Hellgelb: 16 Bündel, 1 orangegelb, 1 sehr hellgelblich, 2 gelbröthlich braun, 3 grün, 2 graugrünlich, 1 sehr hellbläulich, 1 sehr hellgrauröthlich, 5 rothbraun.

(VI.) Gelblichgrün: 9 Bündel, wovon 2 gelblich, 2 gelblichgrün, 2 dunkel gelblichgrün, 2 gelblichbraun, 1 braun.

(VIII.) Hellgrün: 13 Bündel, 2 grün, 1 hellbläulichgrün, 1 roth, 2 grauröthlich, 3 hellgrau, 4 dunkelgrau.

(V.) Hellblau: 19 Bündel, 2 dunkelblau, 2 blau, 1 hellblau, 4 sehr hellblau, 4 violett in verschiedenen Nüancen, 5 rosaroth in verschiedenen Nüancen, 1 hellroth.

(X.) Violett, hell (lila): 16 Bündel, wovon 3 lila, 2 blau, 5 bläulich in verschiedenen Nüancen, 1 grünlichbläulich, 5 rosa in verschiedenen Nüancirungen.

Die Ergebnisse an Mes. sind mit jenen an On. vergleichbar, da beiden genau dieselben Musterwollen aus derselben Collection vorlagen, und auch aus diesem Vergleich geht mit Klarheit hervor, dass On., wie schon oben erwähnt, weder rothgrünblind, noch total farbenblind ist.

Nachdem das Spectrum von Mes. zweigetheilt ist (gelb und blau), so forderte ich ihn ebenfalls auf, die 10 Probebündel in 2 Gruppen, nämlich nach seinen zwei Farben zu theilen; und ausserdem mir die Farbe eines jeden Bündels anzugeben. Das Ergebnis dieses Versuches ist in folg. Tab. XLIII mitgetheilt. Es sei bemerkt, dass die richtige Bezeichnung der Farbe eingeklammert angeführt ist.

Tabelle XLIII.

I. Gruppe nach Mes, Gelb: 2 Bündel blassgelb (gelborange, hellgelb), 1 lichtgelb (rein Gelb), 1 dunkelgelb (gelblichgrün), 1 dunkel schmutziggraugelb (hellgrün).

II. Gruppe nach Mes. Blau: 1 lichtblassblau (hellrosa lichter), 3 lichtblau (1 hellrosa, 1 hellviolett (lila), 1 hellblau), 1 dunkelblau (Purpur).

3. Vergleich mit den Ergebnissen anderer Forscher.

Es wird nicht unzweckmässig sein, die mit der Wollprobe an On. erhaltenen Resultate mit jenen zu vergleichen, die andere Forscher an Gelbblaublinden gewannen.

Damit ein solcher Vergleich seine richtige Bedeutung erhalte, wäre es nothwendig, dass die vorgelegten Muster für alle Farbenblinde identisch wären, denn nur in diesem Falle liessen sich aus den vorgekommenen Verwechslungen sichere Schlüsse ziehen. Mit der blossen Bezeichnung der vorgelegten Wollprobe ist manchmal nicht viel gewonnen, da es hinreichend bekannt ist, wie, besonders in den hellen Nüancen einer Farbe, die subjective Empfindung eines Farbentüchtigen und seine Uebung in der Unterscheidung und Benennung von hellen Farbennüancen eine grosse Rolle spielen. Trotz dieser Einschränkung behält doch der vorzunehmende Vergleich einen Werth, da die hierhergehörigen Verwechslungen derart sind, dass Farbentüchtige sich niemals solche zu Schulden kommen lassen.

Nur in wenigen der bis jetzt beschriebenen Fällen von Gelbblaublindheit sind die Ergebnisse der Holmgren'schen Wollprobe mitgetheilt. Die mir bekannt gewordenen Angaben sollen nun mitgetheilt und mit den an On. erhaltenen Resultaten verglichen werden.

Cohn[1]) legte seinen fünf Fällen, die er als rein blaugelbblinde betrachtet, nur Rosawolle vor (S. 4) und die Ergebnisse werden von ihm (S. 237) folgendermaassen mitgetheilt: „Zur Rosawolle bei der Vorprobe legten Fall 12, 18, 65 Roth, Fall 13 Braun und Grün; Fall 34 Roth und Grau.“

On. hat bei den Rosaproben keine so augenfällige Verwechslungen gemacht; wie schon oben S. 500 angeführt; die wichtigste Verwechslung ist jene mit Hellviolett.

Cohn hat dagegen Beobachtungen mit gefärbten Pulvern vorgenommen (S. 9) und theilt die bei den fünf Gelbblaublinden erhaltenen Resultate ausführlich mit und sagt schliesslich (S. 239): „die vorgelegten gefärbten Pulver hätten also nur in 2 Fällen eine Verwechslung bei Gelb, nur in 2 Fällen bei Blau und in 3 Fällen bei Violett ergeben“.

Zahlreichere Proben mit Holmgren's Methode hat Magnus[2])

---

1) H. Cohn, Studien etc. cit. oben S. 435.

2) H. Magnus, Beiträge etc. cit. oben S 435.

an sieben Violettblinden vorgenommen. Unter diesen war einer vollständig violettblind, während die anderen mittleren Graden angehörten.

Magnus giebt S. 226 folgende Schilderungen seines Befundes, deren wörtlicher Wiedergabe ich die Beobachtungen bei On. hinzufügen werde. „Bei der Holmgren'schen Wollenprobe sortirten die ausgesprochen violettblinden Individuen in der Weise, dass sie zu fleischfarbener Wolle Grau und Hellgelb, sodann zu Purpur Scharlachroth, zu Gelb Hellgrau, zu Blau Grün, zu Grün Blau und zu Violett Grün legten."

[On. gab zu Hellrosa weder Grau noch Hellgelb; zu Gelb nicht Hellblau; er legte ebenfalls zu Purpur Roth in verschiedenen Nüancen; zu Blau Grün und zu Grün Blau.]

„Und zwar erhielt ich ein derartiges Resultat bei 5 Individuen, während dagegen 2 andere, welche nur geringe Grade der Blaublindheit besassen, sich etwas abweichend gegenüber der Holmgren'schen Probe verhielten. Sie nannten Gelb stets Grau oder Weiss, je nach der Intensität der vorgelegten gelben Wollenprobe, suchten aber nach sorgfältigem Ueberlegen zu Gelb stets nur wieder Gelb heraus."

[Es ist mir nicht vorgekommen, dass On. das Gelb Weiss oder Grau genannt hätte; nur bei reinem Gelb suchte er lichtbraune Bündel heraus.]

„Dagegen legten sie zu blauer Wolle stets Grün, zu Violett wiederum Grün und zwar Dunkelgrün und zu Grün Blau."

[On. machte ganz ähnliche Verwechslungen.]

„Legte man ihnen grüne Wolle vor und fragte sie nach den Farbennamen derselben, so lautete die Antwort stets: Blau und umgekehrt bei blauer Wolle immer: Grün."

[Obwohl On. zu Grün Blau und zu Blau Grün setzte, bezeichnete er doch das Grün ziemlich genau und es ist mir nicht erinnerlich, dass er in der Bezeichnungsweise einen auffallenden Fehler gemacht hätte; in meinen Versuchsprotokollen finde ich nirgends eine diesbezügliche Bemerkung. Dagegen benutzte er für Blau und Violett immer die Bezeichnung „unbekannte Farbe", nur bei der Spectraluntersuchung bezeichnete er manchmal die zwei genannten Farben als „dunkelgrau".

Hermann[1]) S. 43 hat ebenfalls die Holmgren'sche Woll-

1) G. Hermann, Ein Beitrag etc. cit. oben S. 436.

probe bei seinem Gelbblaublinden vorgenommen. In diesem Falle wurde „zum Hellrosa ein fleischfarbenes und ein gelblich-oranges Wollbündel“ hinzulegt.

[On. zu Hellrosa, Hellviolett.]

Der Farbenblinde von Hermann legte „zu einem citronengelben Probebündel: zwei hellbraune, ein blaues, ein rein grünes und ein grüngraues Wollbündel; zu einem anderen intensiv gelben Probebündel ein bläulichgraues Bündel“ hinzu.

[On. hat weder beim hellen Gelborange, noch beim Hellgelb irgend ein falsches Bündel hinzugelegt; nur beim reinen Gelb, wie angeführt, wählte er zwei bräunlichgelbe und zwei lichtbraune Bündel aus: und erst bei der Vorlage eines grüngelblichen Musters nimmt On. auch zwei hellblaue und ein grünliches Bündel.]

Der Farbenblinde von Hermann legte zu hellgrün zwei violette hinzu.

[On. zu hellgrün ein hellblaues Bündel.]

Der von Hermann beobachtete junge Mann sucht zu einem Lilabündel „mehrere blaue, ein graues und einige hellgrüne“ aus.

[On. dagegen rosenrothe, hellpurpur, sehr hellroth und ein violettes mit einem Stich ins Roth.]

Der Blaugelbblinde von Hilbert[1]) legte zu hellrosa Wolle: rosa blassroth (lachsfarbig), orange, hellviolett hinzu.

[On. hellviolett und hellrosa.]

Zu hellgrüner Wolle: hellgrün in zwei Nüancen und hellblaugrün.

[On. hellblau und bläulichgrün].

Der Violettblinde von Donders[2]) sortirte zwar etwas langsam, aber doch vollkommen richtig blaue (worunter blaugrüne) und violette Wollbündel, beide Farben in sehr verschiedener Lichtstärke und Saturation.

Die Rosawollbündel wurden von blassblauen unterschieden und der Violettblinde erklärte sogar, in den rosafarbenen Bündel entschieden etwas Röthliches zu sehen.

In den Ann. d'oculistique (cit. ob. S. 436) führt Donders die Beobachtung mit den blauen und violetten Wollenbündeln fast mit denselben Worten an, wie in Gräfe's Archiv. Man findet aber

1) R. Hilbert, Das Verhalten etc. cit. oben S. 436.

2) F. C. Donders, Noch einmal etc. cit. oben S. 436.

noch folgendes: Des objets jaunes apparaissent sans couleurs. [On. hat das Gelb richtig erkannt und benannt nur ist seine Empfindlichkeit für diese Farbe etwas herabgesetzt.] Le vert-pâle et le bleu-pâle sont également incolores: le bleu du ciel est gris.

Nach den oben mitgetheilten Beobachtungen lässt sich nicht behaupten, dass On. das Hellgrün und das Hellblau als farblos sehe; ich zweifle aber nicht, dass On. das Hellblau farblos sieht, wie aus den mitgetheilten Beobachtungen über die Farbengleichungen und über die Empfindlichkeitsgrenze hervorgeht.

Wie On. den Himmel sieht, konnte ich nicht mit Sicherheit entnehmen. An einem sehr schönen Nachmittag forderte ich ihn auf, jene Wollbündel auszusuchen, die mit der Farbe der Nordseite des Himmels die grösste Aehnlichkeit hatten. Es muss aber bemerkt werden, dass trotz der vollkommenen Wolkenlosigkeit und Reinheit der Luft der Himmel nicht eine tiefe schöne blaue Färbung zeigte. On. übergab mir nur drei Bündel und zwar zwei hellblaue und ein sehr hellgrünlichblaues.

Zwei Farbentüchtige (Pos. und St.), welchen ich dieselbe Aufgabe stellte, übergaben mir der eine 3 der andere 4 Bündel. Die ausgesuchten Bündel waren mehr oder weniger hellblau ohne irgend eine andere Farbenmischung.

Schliesslich sollen die Beobachtungen Stilling's[1]) angeführt werden: dieser benützte zu seinen Proben theils farbige Zwirnrollen, theils farbige Seidenbänder, theils farbige Seidenfäden zu Bündeln verknüpft.

Da den sechs Farbenblinden nicht dasselbe Material und auch nicht immer dieselben Farben zum Sortiren vorgelegt wurden, so ist eine kurze Wiedergabe der von Stilling erzielten Resultate ziemlich schwer. Es werden aber folgende Angaben genügen.

Blau wurde meistens mit Grün verwechselt, es kamen aber auch Verwechslungen von Dunkelblau mit Roth, von Hellblau mit Grau und von Blau mit Roth vor.

Bei Vorlage von Purpur kamen Verwechslungen mit Roth, mit Dunkelroth, mit Blau und Violett vor.

Violett wurde mit Roth und Rosa verwechselt.

Ein besonderes Interesse für den Vergleich mit den Beobach-

1) J. Stilling, Ueber die angeborene partielle etc. in Beiträge II cit. oben S. 452.

tungen an On. haben die Versuche von Stilling mit Gelb, welche daher hier etwas ausführlicher mitgetheilt werden sollen.

Bei Sortirung farbiger Seidenfäden, zu Bündeln verknüpft, weiss der erste Fall Stilling's von dunklem Gelb nicht zu sagen, was es sei; er nennt es Pferdebraun; helles Gelb sortirte er richtig aus.

Der zweite Fall legte beim Sortiren farbiger Zwirnrollen Gelb mit Rosa zusammen, welche Farben er beide als Gelb bezeichnete. An einem der folgenden Tage legte er Gelb mit Lila, Gelb mit Himmelblau zusammen und nannte beides Gelb.

Der dritte Fall legte beim Sortiren einer Anzahl farbiger Seidenbänder Gelb mit Rosa zusammen.

Ein anderer Fall [1]) stellte beim Sortiren farbiger Zwirnrollen ebenfalls Gelb mit Rosa zusammen und nannte beides Hellgelb.

On. hat beim Sortiren des Gelben niemals solche Verwechselungen gemacht [2]).

An die eben mitgetheilten Beobachtungen mit der Holmgren'schen Wollprobe will ich auch jene mit den v. Reuss'schen Wolltäfelchen und mit den pseudoisochromatischen Tafeln von J. Stilling anschliessen.

VII.

A. von Reuss' Wolltäfelchen.

1) Beobachtungen an dem Blau-Violett-Blinden.

Bei der Anwendung dieser Wolltäfelchen bin ich genau so verfahren wie A. v. Reuss [3]) vorschreibt. Nachdem On. die

---

1) J. Stilling, III. Ueber Blau-Gelb-Blindheit etc. cit. oben S. 435.

2) Es wurde den zwei Farbenblinden auch die in der Holmgren-schen Abhandlung enthaltene Farbentafel gezeigt, ihre Angaben waren: On.: IIa hat Aehnlichkeit mit 6, 7 und 8; die Farbe ist grau. Bei I und bei IIb sind alle ungleich. Der Blaugelbblinde von Hilbert erklärte Taf. IIa für ähnlich, aber nicht für identisch mit 7. — Mes.: I = 3, IIa = 8, IIb = 10. — Cohn (S. 239) hat ebenfalls seine Gelbblaublinden mit der Holmgren'schen Tafel geprüft und konnte dieselbe für die Diagnose der Gelbblaublindheit nicht verwenden.

3) A. v. Reuss, Wolltäfelchen zur Untersuchung auf Farbenblindheit. Wiener medicinische Presse 1886 No. 3.

Täfelchen in die zwei Gruppen getheilt hatte, nahm ich ein Protocoll auf, in welchem selbstverständlich nur die Täfelchen jener Partie angemerkt wurden, die On. als gleich oder ähnlich gefärbt bezeichnete, nachdem ich die richtigen ausgeschieden hatte; in folgender Tab. XLIV sind diese zwei Protocolle a und b mitgetheilt. Selbstverständlich geschahen auch diese zwei Proben bei hellem Tageslicht in der Nähe eines Fensters.

Tabelle XLIVa.

Es werden 22 Täfelchen mit gleichen oder nur der Helligkeit nach verschiedenen Farben ausgesucht.

Darunter finden sich aber folgende Täfelchen:

Blau mit grünblau.
Blau mit reinem grün.
Lichtblau mit gelbgrün.
Dunkelblau mit lichtgelbgrün.
Rosenroth mit purpur.
Rosenroth mit hellpurpur.

Tabelle XLIVb.

Es werden 21 Täfelchen ausgesucht, die nach On. der gestellten Forderung entsprechen.

Darunter finden sich 9 ganz correct mit gleicher Farbe, 8 ebenfalls exact mit gleichen Nüancirungen; und endlich finden sich auch folgende vier:

Rosenroth mit grau.
Hellpurpur mit violett.
Blau mit grün.
Hellblau mit grüngelblich.

Diese zwei Versuche zeigen, dass On. weder roth- noch grünblind ist, da er kein Täfelchen aussuchte, welches auf Rothgrünblindheit deuten würde.

Der Farbensinn für Gelb kann auch nach dieser Untersuchung nicht wesentlich beeinträchtigt sein, da gar keine Verwechselung vorkam, aus welcher auf Gelbblindheit geschlossen werden könnte.

Wir finden aber in beiden Versuchen die deutlichsten Beweise für Blauviolettblindheit, da blaue Töne mit grünen verwechselt werden; ausserdem kommen Verwechselungen von Rosaroth mit Grau und Hellpurpur mit Violett vor.

Soweit mir bekannt ist, wurde bis jetzt noch kein Gelbblaublinder mit dieser Methode untersucht.

v. Reuss [1] hat bei den in der ersten Abhandlung mitgetheilten Fällen (S. 263—264) seine Methode nicht angewendet, und in der zweiten Mittheilung wird bloss gesagt: „Sämmtliche Proben sind an Farbenblinden mittelst der Holmgren'schen Methode gewonnen, auch die für Blaugelbblindheit bestimmten, für die ich bei meiner Publication im „Archiv für Ophthalmologie" noch zu wenig Material besass" [2]).

2) Beobachtungen an dem Roth-Grün-Blinden.

Ich legte auch dem Rothgrünblinden (Mes.) die Wolltäfelchen von A. v. Reuss vor, und das Ergebnis dieser Probe ist in folgender Tab. XLV mitgetheilt, aus welcher hervorgeht, dass die Zahl der Verwechselungen bedeutend grösser ist als bei On.

Tabelle XLV.

Es werden 45 Täfelchen ausgesucht, die nach Mes. gleiche oder ähnliche Farben enthalten. Davon sind 16 vollkommen richtig, 29 falsch und zwar:

8 Purpur in verschiedenen Nüancirungen vom hellrosa bis dunkelpurpur mit hellroth; mit blaugrün; mit drei blauen; mit violett; mit zwei grauen.

2 sehr hellrosa mit hellgelb und hellgrau.

6 roth (verschiedene) mit blau (verschiedene).

3 grün (verschiedene) mit roth (verschiedene).

9 grün (verschiedene) mit braun (verschiedene) und mit hellviolett.

1 hellblau mit dunkelgrau.

---

1) A. v. Reuss, Untersuchung der Augen etc., cit. ob. S. 436.

2) Die Methode von v. Reuss hätte, wenn die Täfelchen nummerirt werden, dann den Vortheil, dass man sich bei jeder Untersuchung nur die Nummern der als gleich oder ähnlich ausgesuchten Täfelchen zu notiren braucht, um später mit Musse einen Vergleich der an verschiedenen Personen erhaltenen Resultate anstellen zu können. In dieser Weise könnte man vorzugsweise bei geschwächtem Farbensinn interessante Ergebnisse erzielen.

VIII.

Pseudoisochromatische Tafeln von J. Stilling.

1) Beobachtungen an dem Blau-Violett-Blinden.

Es wurden On. auch die pseudoisochromatischen Tafeln von Stilling vorgelegt und zwar sowohl die Ausgabe vom Jahre 1883, wie auch jene vom Jahre 1889.

On., welcher sich in der Nähe eines gegen Norden gelegenen Fensters befand, musste nach vorausgegangener Instruction von der ersten Tafel an beginnend, dieselben zu lesen trachten und das Gelesene dictiren; ich machte die entsprechenden Notizen, ohne dass On. wusste, was notirt wurde. In dieser Weise sind die zwei Protocolle entstanden, die in den Tab. XLVI und XLVII mitgetheilt werden.

Tabelle XLVI.

Tab. I, II und III werden sehr leicht und ziemlich schnell gelesen.

Tab. IV wird etwas langsamer entziffert, zwei anfangs gemachte Fehler werden von On. corrigirt.

Tab. V. On. ist nicht im Stande, die vier Felder dieser Tabelle zu entziffern.

Tab. VI. Anfangs sagte On.: er sehe zwei verschiedene Farben; er braucht viel Zeit, um die vier Felder zu entziffern; die zwei ersten Felder werden aber nicht genau, das dritte wird nicht mit Sicherheit entziffert, da er angab, die erste Ziffer sei entweder 0 mit einem Strich in der Mitte oder eine 8; die zweite Ziffer sei 0. (Die richtige Zahl ist 60). Das vierte Feld wird wohl entziffert, aber nachdem On. sich selbst corrigirte.

Tab. VII sehr leicht und schnell gelesen.

Tab. VIII wird nicht entziffert.

Anmerkung. Auflage vom Jahre 1883. Taf. I, II, III, IV und V sind für Rothgrünblinde; Taf. VI für Blaugelbblinde und Taf. VII und VIII für Simulanten bestimmt.

Tabelle XLVII.

Tab. I, II, III und IV werden leicht und nicht wesentlich langsam entziffert.

Tab. V wird sehr schwer gelesen und bei Angabe der entzifferten Zahlen muss sich On. bei jedem Felde corrigiren.

Tab. VI und VII sehr schnell und ohne Fehler gelesen.

Tab. VIII wird sehr schwer gelesen, die vier Felder erscheinen On.

mehr oder weniger undeutlich (più o meno confusi). Bei dem ersten Feld sagt er vielleicht 82; beim zweiten vielleicht 68; bei dem dritten 86 oder 36; beim vierten 94 (die richtigen Zahlen sind 82, 58, 36, 94).

Tab IX wird ungemein langsam und mühsam gelesen. On. sieht wohl zwei, aber sehr wenig von einander verschiedene Farben.

Seine Angaben sind: erstes Feld 63 oder 68; zweites Feld 21 oder 27; drittes Feld vielleicht 48; viertes Feld 85. (Die richtigen Zahlen sind 63, 27, 49, 85.)

Tab. X sehr schnell und richtig entziffert.

Anmerkung. Auflage vom Jahre 1889. Taf. I bis inclusive VII sind für Rothgrünblinde; Taf. VIII ist für Blaugelbblinde, und Taf. IX und X sind für Simulanten bestimmt.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass On. die für Gelbblaublinde bestimmten Tafeln von beiden Ausgaben nur sehr mühsam und theilweise fehlerhaft entziffert; er ist nicht im Stande, eine für Rothgrünblinde bestimmte Tafel (Taf. V, Auflage 1883) (vergl. Tab. XLVI) zu entziffern und vermag nur mühsam eine zum selben Zwecke bestimmte Tafel zu lesen (Taf. V. Aufl. 1889) (vergl. Tab. XLVII).

Auch eine für Simulanten angefertigte Tafel kann On. entweder gar nicht (Taf. VIII. Aufl. 1883) (vergl. Tab. XLVI) oder nur mühsam (Tab. IX. Aufl. 1889) (vergl. Tab. XLVIII) lesen.

Aus dieser Probe liesse sich meines Erachtens nur entnehmen, dass der Farbensinn On.'s wohl geschwächt sei, aber nicht gänzlich mangle. Eine sichere Angabe über die Art seines Fehlers hätte man auf Grundlage dieser Probe nicht machen können. Es wäre sehr erwünscht gewesen, On. eine Taf. vorlegen zu können, in welcher die Verwechselungsfarben Blau und Grün oder Blau und Grau vorkommen.

2) Beobachtungen an dem Roth-Grün-Blinden.

Mes. konnte ich nur die pseudoisochromatischen Tafeln vom Jahre 1883 vorlegen und die erhaltenen Ergebnisse sind in folgender Tab. XLVIII mitgetheilt.

Tabelle XLVIII.

Taf. I mittelmässig schnell gelesen.

Taf. II wird mittelmässig schnell gelesen; Mes. ist aber nicht immer sicher, ob die Zahlen richtig entziffert wurden.

Taf. III. 9 des ersten Feldes sehr unsicher; die nächsten zwei Felder werden nicht entziffert; 4 des vierten Feldes ziemlich sicher. Diese Taf. wird sehr langsam gelesen.

Taf. IV. 41; 23 sehr unsicher (richtige Zahl 25); 68 unsicher; 39 unsicher. Die Tafel wird mässig langsam entziffert.

Taf. V. 30 sehr unsicher; nicht entziffert; 82 unsicher; 84 unsicher; mässig langsam gelesen. (Die richtigen Zahlen sind 80, 95, 62, 84).

Taf. VI und VII ziemlich leicht und schnell gelesen.

Taf. VIII. 23 unsicher; 56; 89 unsicher; 47 mässig schnell entziffert.

3) Ergebnisse von anderen Forschern.

Die Angaben, die ich in der Literatur bezüglich der pseudoisochromatischen Tafeln für Gelbblaublinde fand, sind nicht zahlreich; und ausserdem kann ich die Ergebnisse an On. mit den an anderen erhaltenen nicht vergleichen, da die Stilling'schen Tafeln im Verlaufe der Zeit verschiedene Aenderungen erfuhren. Es wäre somit für einen Vergleich unbedingt eine Einsicht in sämmtliche bisher erschienenen Auflagen nöthig. Ich begnüge mich daher mit einer kurzen Wiedergabe der von anderen Forschern erhaltenen Resultate.

Cohn[1]) (S. 16) benutzte die vor August 1878 erschienene Ausgabe, wie auch die im Januar erschienenen gelbrothen Tafeln und endlich die Ausgabe, welche Stilling im Jahre 1878 auf der augenärztlichen Versammlung in Heidelberg vorlegte. Das Endergebnis dieser Untersuchung wird von Cohn folgendermaassen zusammengestellt (S. 286): „Die gelbblauen Tafeln, welche Stilling zur Erkennung der Gelbblaublindheit herausgab, wurden von mehreren Blaugelbblinden gelesen. Die zu demselben Zwecke herausgegebenen gelbrothen Tafeln Stilling's sind technisch besser, wurden aber doch von einem Blaugelbblinden gelesen.“

Hilbert[2]) theilt S. 41 mit: „Die Tafeln zur Diagnose der Blaugelblindheit (Heft III, 1877) werden sämmtlich gelesen, die erste derselben allerdings sehr mühsam.“

G. Hermann[3]) hat folgende Auflagen benutzt (S. 22): „Neue Folge, erste (1878) und zweite Lieferung (1879). Alsdann die Tafeln zur Bestimmung der Blaugelbblindheit (1877)“ und er bezeichnet (S. 33 Note) „die Stilling'schen Tafeln der ersten Lieferung mit a, b, c etc., die der zweiten mit I, II etc.; die Tafeln für Gelbblaublindheit mit 1, 2, 3.“

Für seinen Gelbblaublinden giebt G. Hermann folgendes

1) H. Cohn, Studien etc. cit. oben S. 435.

2) R. Hilbert, Das Verhalten etc. cit oben S. 436.

3) G. Hermann, Ein Beitrag etc. cit. oben S. 436.

an S. 43: „Tafel a wird gut gelesen; Tafel I desgleichen, aber II kann nicht gelesen werden. Von den Tafeln für Gelbblaublinde wurde dass H auf Tafel I nicht einmal mit dem Finger richtig gedeutet. Auf Tafel II konnte der obere Stern nicht erkannt werden und auf Tafel III wurde das T nicht ganz richtig gedeutet."

IX.

Spiegelversuche.

1) Bei den Blau-Violett-Blinden und bei dem Roth-Grün-Blinden.

Zu den Spiegelversuchen verwendete ich die von Hering[1]) angegebene Einrichtung[2]). Die Klappe muss, um die Farben deutlich zu sehen, immer richtig gestellt werden (Hering l. c. S. 359). In der That treten die Farben je nach der Stellung der Klappe mehr oder weniger deutlich, heller oder dunkler hervor. Bei den meisten der anzuführenden Beobachtungen wurde darauf Rücksicht genommen und ich habe auch nicht selten die Stellung der Klappe im Protocoll verzeichnet.

1) E. Hering, Ueber die Theorie des simultanen Contrastes von Helmholtz. III. Mittheilung: Der Spiegelcontrastversuch. Pflüger's Archiv. Bd. 41, S. 358. Die von Hering angegebene Einrichtung hat folgende Anordnung: Die zwei aufeinander senkrecht stehenden Papierblätter (auf dem senkrechten sind der centrale Punkt und der II. Ring, auf dem horizontalen Blatt der I. und III. Ring angebracht), wie auch die farbige Glasplatte befinden sich in einem parallepipedischen Holzkasten, dessen vordere, gegen das Fenster gerichtete Wand fehlt. Am freien Rand der unteren Fläche des Kastens ist mit Charnieren die bewegliche geschwärzte Klappe angebracht. Die obere Fläche des Kastens fehlt und an deren Stelle kann man ebenso grosse graue Papptafeln mit beliebig grossen runden Oeffnungen anbringen. Bei meinen Versuchen bediente ich mich einer Papptafel mit einer ungefähr 7 cm im Durchmesser messenden Oeffnung, so dass der Beobachter bequem mit beiden Augen alle drei Kreise sehen konnte.

2) Die angewandten farbigen Glasplatten wurden spektroskopisch mittelst des Sonnenspektrums mit folgendem Resultat untersucht: Rothes Glas lässt nur rothe Strahlen durch; gelbes Glas lässt Roth, Gelb, Grün und etwas Blau durch; grünes Glas lässt durch: Grün und etwas Blau; blaues Glas zeigt zwei breite Absorptionsstreifen, den ersten vom Roth bis in Grün, den zweiten um die Linie *F*; die Platte lässt somit etwas Roth und Grün, und dann Blau durch.

Es muss aber bemerkt werden, dass trotz der richtigen Klappenstellung die Ringe nicht in ihrem ganzen Umfang gleichförmig gefärbt erscheinen, meistens ist das vordere Segment eines Ringes etwas heller gefärbt als das hintere.

Bei einigen Beobachtungen wurde auch dieser Umstand berücksichtigt, und die in den Protocollen gebrauchte Bezeichnung: äusseres Segment oder äussere Hälfte bedeutet daher jenen Theil eines Ringes, der der Lichtquelle am nächsten liegt, der andere Theil wird als innere Hälfte oder inneres Segment des Ringes bezeichnet.

Einige Beobachtungen wurden nicht nur mit On., sondern auch mit den zwei Farbentüchtigen und dem Rothgrünblinden vorgenommen. Die Beobachter wussten durchaus nicht, um was es sich handelte und wie der Apparat eingerichtet war: sie mussten einfach die Ergebnisse ihrer Beobachtungen niederschreiben.

Zum Verständnis der Angaben in den Versuchsprotocollen sei noch angeführt, dass, um mich mit den Beobachtern zu verständigen, bei gleichzeitiger Vermeidung irgend einer Erklärung das Uebereinkommen getroffen wurde, die Ringe des gemeinschaftlichen Bildes vom centralen Punkte aus mit den Zahlen I, II und III zu bezeichnen, so dass der centrale Punkt und der II. Ring der inducirenden, der I. und III. Ring der inducirten Farbe angehören.

Die beim ersten Versuch erhaltenen Resultate sind aus folgender Tab. XLIXa ersichtlich.

Tabelle XLIXa

I. Rothes Glas.

Pos.: carminroth, lichtblau.

St.: dunkelroth auf rosa Grund, hellblau.

Mes.: schwarz [1]), sehr blassblau.

---

1) Diese Angabe Mes.'s kam mir etwas räthselhaft vor und daher wiederholte ich mit ihm denselben Versuch einige Monate später, seine neuen Angaben stimmten mit den früheren vollkommen überein, und als ich ihn aufmerksam machte, der Punkt und der II. Kreis müssen ihm als gelb oder wenigstens gelblich erscheinen, versicherte er dieselben nur schwarz zu sehen. Ich wiederholte die Beobachtung ein drittes Mal, an einem etwas helleren Tage. Mes. bezeichnete den Grund als grauweiss, während derselbe dem (Farbentüchtigen V.) als röthlichweiss erschien. Der Punkt und der II. Kreis

On.: erkennt augenblicklich das Roth; das äussere Segment des I. und III. Ringes bezeichnet er als schwach grünlich, das innere Segment derselben Ringe als dunkelgrau.

II. Gelbes Glas.

Pos.: gelb mit Stich ins Braun, blau.

St.: gelb auf lichtgelbem Grunde, schwarzblau.

Mes.: blassgelb, dunkelbau.

On.: gelb, schwarz.

III. Grünes Glas.

Pos.: grün, rosa; I. Ring dunkler als der III.

St.: grün auf hellgrünem Grund, rosa.

Mes.: gelb, blau.

On.: grün, blassroth (rosa) [1]).

IV. Blaues Glas.

Pos.: gesättigtes Blau, braungelb.

St.: blau auf violettem Grund, gelb.

Mes.: blau, gelb.

On.: der Punkt und der II. Ring dunkelgrau, äusseres Segment des I. und III. Ringes gelblich mit etwas grau gemischt, inneres Segment des I. Ringes grau mit etwas gelb gemischt, inneres Segment des III. Ringes dunkelgrau.

Da mich diese Angaben On.'s nicht ganz befriedigten, so nahm ich mit ihm noch am selben Tag eine zweite Versuchsreihe vor. in dieser wurde auf die Stellung der Klappe grössere Rücksicht genommen. Die Ergebnisse sind in folgender Tab. XLIX b mitgetheilt.

Tabelle XLIXb.

I. Rothes Glas.

Punkt: dunkelroth.

I. Ring: äusseres Segment ist blassgrünlich, etwas gesättigter als das innere Segment.

II. Ring: roth.

III. Ring: äusseres Segment blassgrünlich, inneres Segment blassgrünlich mit etwas grau gemischt.

---

wurden von Mes. bei dieser dritten Beobachtung als Schwarz mit sehr geringer Spur von Gelb bezeichnet, und für die von ihm wahrgenommene Farbe werden 4 Wollenbündel ausgesucht, wovon 2 sehr dunkelpurpur und 2 sehr dunkel rothbraun sind.

1) On. schrieb wörtlich rossigno sbiadito (rosa); die wörtliche Uebersetzung wäre verblichenes Roth.

II. Gelbes Glas.

Punkt: gelb.

I. Ring: sehr dunkelgrau (nero un poco sbiadito).

II. Ring: gelb.

III. Ring: sehr dunkelgrau (nero un poco sbiadito).

Es wird nun die Klappe aufgestellt.

I. Ring: äusseres Segment grau mit grünlicher Färbung, inneres Segment hellgrau.

III. Ring: äusseres Segment blassgrünlich, inneres Segment dunkelgrau.

III. Grünes Glas.

Punkt: dunkelgrün.

I. Ring: blassroth (rosa) (rossigno sbiadito, rosa).

II. Ring: dunkelgrün.

III. Ring: blassroth (rosa).

IV. Blaues Glas.

Punkt: dunkelgrau.

I. Ring: äusseres Segment ein wenig gelblich, inneres Segment graugelblich.

II. Ring: grau.

III. Ring: äusseres Segment blassgelblich, inneres Segment graugelblich.

Es wird nun die Klappe aufgestellt.

Punkt: schwarz.

I. Ring: sehr blassgelblich (giallognolo molto sbiadito).

II. Ring schwarz.

III. Ring: sehr blassgelblich.

Es wird On. die blaue Glasplatte gereicht mit der Aufforderung anzugeben, wie er die Gegenstände beim Hindurchblicken sieht. On. findet die Platte dunkelgrau, und die Gegenstände erscheinen ihm mehr oder weniger grau gefärbt.

Die gelbe Glasplatte findet er gelbröthlich.

Ich wollte mich endlich nicht allein auf die sprachlichen Bezeichnungen On.'s verlassen und nahm daher später noch eine dritte Versuchsreihe vor.

Nachdem der Klappe jene Stellung gegeben wurde, bei welcher On. die zwei Farben am deutlichsten zu sehen glaubte, wurde ihm die Aufgabe gestellt, jene Wollbündel auszusuchen, die ihm am ähnlichsten mit den gesehenen Farben schienen; selbstverständlich zuerst für eine, dann für die andere Farbe.

Bei diesen, wie auch bei allen anderen ähnlichen Versuchen, suchte On. zuerst eine Anzahl Bündel heraus, die mit der wahrgenommenen Farbe eine Aehnlichkeit zu haben schienen, dann

verglich er noch einmal die ausgesuchten Bündel und schied diejenigen aus, die ihm am ähnlichsten vorkamen. Ich notirte nun Zahl und Farbe der mir übergebenen Bündel.

Die Resultate dieser Versuchsreihe sind in Tab. L zusammengestellt.

Tabelle L.

Spiegelversuch, verbunden mit Aussuchen der den gesehenen Farben entsprechenden Wollbündel.

Rothes Glas.

Für Roth: 8 Bündel ausgesucht, wovon 2 entschieden purpur sind.

Für Hellblau: Nur der I. Ring erscheint überall gleichförmig gefärbt. 6 Bündel ausgesucht und zwar 3 hellblau, 1 violett und 2 grau.

Gelbes Glas.

Für Gelb: Bei etwas schief aufgestellter Klappe sucht On. 4 Bündel aus, die theils graugelblich, theils grauröthlich sind.

Für Blau: Beim Bewegen der Klappe von unten nach oben sieht On den I. Ring zuerst schwarz, dann sehr dunkelgrau und erst wenn die Klappe vollständig geschlossen ist, schwach grünlich. Bei halbgeöffneter Klappe sucht On. für die Farbe des I. Ringes 7 Bündel aus, davon sind 3 dunkelviolett, 2 dunkelblau, 1 dunkel blaugrün, 1 dunkelgrau.

Nun bei geschlossener Klappe. Der I. Ring erscheint On. in dem äusseren Segment etwas grünlich, im inneren dunkelgrau. Es werden nur 2 Bündel ausgesucht: eines hellblau, das andere sehr dunkel graugrün. Endlich wird On. das Glas gezeigt: er sagt ohne Zögern gelb, alle Gegenstände erscheinen ihm damit gelblich.

Grünes Glas.

Grün: Für den Punkt und das äussere Segment des II. Ringes sucht On. 4 dunkelgrüne Bündel aus. Für das innere Segment des II. Ringes werden von ihm ebenfalls 4 Bündel gewählt, darunter 3 dunkelgrüne, jedoch etwas heller als die früheren; ein grünes mit einem Stich ins Blaue.

Rosa: Für den I. Ring zwei dunkelrosa Bündel, für das äussere Segment des III. Kreises werden von On. 5 Bündel ausgesucht, welche ebenfalls rosa, aber etwas heller als die früheren sind.

Blaues Glas.

Blau: 5 Bündel ausgesucht, unter denen 3 blau, 2 violett; alle grauen Wollbündel werden von On. als zu hell zurückgewiesen.

Für Gelb: Die Klappe ist hochgestellt, aber nicht geschlossen. Für das äussere Segment des III. Ringes werden von On. nur 3 Bündel ausgesucht, und zwar 2 sehr hellgelbe und ein graugelbliches. Für das innere Segment des III. Kreises suchte On. 8 Bündel heraus, wovon 4 mässig dunkelbraun ohne eine bestimmte Färbung, 4 ebenfalls braun, jedoch etwas heller als die früheren und mit einem leichten Stich theils in Roth, theils in Gelb.

Anmerkung. Für V. ist das äussere Segment des III. Ringes hellgelb, das innere Segment desselben Ringes sehr dunkelgelb. — Der Versuch wird später noch theilweise wiederholt und zwar bei ganz geschlossener Klappe. Für den I. Ring wählt On. 9 Bündel, da ihm gesagt wurde: er solle alle jene Bündel aussuchen, die eine Aehnlichkeit mit der gesehenen Farbe haben. Von den gewählten Bündeln waren 3 gelb in verschiedenen Nüancirungen, 1 orange, 3 sehr hellbraun, 2 gelblichbraun (kaffeebraun).

Rothes Glas. Das objective Roth bezeichnet On. genau; bei der Wollprobe verwechselt er es bloss mit Purpur.

Für die dadurch inducirte Farbe, welche von den Farbentüchtigen als lichtblau, von Mes. als sehr blassblau bezeichnet wird, gebraucht On. die Ausdrücke: schwach grünlich, blass grünlich, dunkelgrau, blass grünlich mit etwas grau gemischt und sucht hellblaue, violette und graue Bündel aus.

Grünes Glas. Die objective Farbe wird von On. genau benannt und die dazu gehörigen Wollen richtig gewählt.

Die inducirte Farbe (nach den Farbentüchtigen Rosa, nach dem Rothgrünblinden Blau) wird von On. richtig benannt und die dazu gehörigen Wollbündel ohne Fehler ausgesucht.

Gelbes Glas. Das objective Gelb benennt On. richtig und sucht graugelbliche und grauröthliche Bündel aus; dieser Fehler deutet höchstens auf eine verminderte Empfindlichkeit für das Gelb.

Die inducirte Farbe (von den Farbentüchtigen und von dem Rothgrünblinden als Blau bezeichnet) benennt On. verschieden je nach der Intensität der inducirenden Farbe. Er gebraucht die Ausdrücke: schwarz, sehr dunkelgrau, dunkelgrau, hellgrau, grau mit grünlicher Färbung, blass grünlich, und sucht blaue, violette, blaugrünliche, dunkelgraugrünliche und dunkelgraue Bündel aus.

Blaues Glas. Das objective Blau wird von On. je nach der Intensität als grau, dunkelgrau bezeichnet; er sucht aber dazu nur blaue und violette Wollbündel aus und lässt alle grauen bei Seite.

Das inducirte Gelb wird von On. ziemlich genau bezeichnet. On. hatte gewiss diese Empfindung, wie aus den ausgesuchten Wollenbündel hervorgeht. Für Hellgelb trifft er eine richtige Wahl, wenn aber das inducirte Gelb ziemlich dunkel ist, wie dies bei dem inneren Segment des I. und III. Ringes der Fall ist (Tab. L), fühlt er sich weniger sicher in der Wahl der Farben und sucht auch braune Bündel aus; er sagt aber selbst, dass die Aehnlichkeit mit der von ihm wahrgenommenen Farbe keine sehr grosse sei.

2) Vergleich mit den Versuchen der anderen Autoren.

Cohn[1]) hat seine Farbenblinden auch auf den Simultancontrast untersucht; dieselben mussten die gesehenen Farben benennen. Verfasser bedauert aber (S. 14), dass er den empfundenen Eindruck nicht in Wolle hat nachlegen lassen, wie dies Pflüger[2]) und Minder[3]) vorschlugen.

Cohn hat (S. 241 u. folg.) die von ihm bei Gelbblaublinden mit dem Schatten-, Spiegel- und dem Florpapier-Versuche erhaltenen Resultate zusammengestellt und ist zu dem Schlusse gelangt: S. 243, „Die Benennung der Contrastfarben sind . . . so häufig fehlerhaft für Roth und Grün, wie für Blau und Gelb. Nach dieser Prüfung, deren sehr geringen Werth ich aber schon oft betont habe, wären die 5 Fälle also total farbenblind."

Magnus[4]), welcher aber (S. 173) blos die farbigen Schatten und den Florcontrast benutzte, ohne die wahrgenommenen Farben in Wolle nachlegen zu lassen, stellt das Ergebnis seiner Untersuchung folgendermaassen zusammen: „Was nun die Contrastempfindungen der Blaublinden anlangt, so wurde bei der Benützung des simultanen Contrastes der meinem normalen Auge als Blau imponirende Contrast von den Blaublinden meist als dunkel oder schwärzlich bezeichnet und in einzelnen Fällen wohl auch grün genannt. Der mir als Gelb erscheinende Contrast wurde meist als Weiss gedeutet."

Obwohl Cohn die vorher mitgetheilte Bemerkung macht, glaubte ich doch, dass es von Bedeutung sei, die von den Gelbblaublinden Cohn's beim Spiegelversuch benannten Contrastfarben mit den Angaben On.'s zu vergleichen, aus welchen gewiss nicht ein ähnlicher Verdacht zu schöpfen wäre wie in den Fällen Cohn's.

Bei den folgenden Angaben werde ich ausserdem auch die von Minder[3]) und Hilbert[5]) mitgetheilten Resultate berücksichtigen.

---

1) H. Cohn, Studien etc., cit. oben S. 435.

2) Pflüger, Methoden zur Untersuchung auf Farbenblindheit. Correspondenzblatt für schweizer Aerzte, IX. Jahrg. 1879, Nr. 16, Seite 481.

3) F. Minder, Beiträge etc., cit. oben S. 435.

4) H. Magnus, Beiträge etc., cit. oben S. 435.

5) R. Hilbert, Das Verhalten etc., cit. oben S. 436.

Roth. Die Farbenblinden von Cohn sahen als Contrast schwarz, grau oder blau. Der Farbenblinde von F. Minder benannte den Contrast gelb, orange, blau, roth; jener von R. Hilbert: schwarz.

On. benutzte dagegen die Ausdrücke: schwach grünlich, dunkelgrau, weisslich grünlich, grauweisslich, grünlich. Da aber die Farbentüchtigen diesen Contrast hellblau nannten, so sind die von On. gebrauchten Bezeichnungen erklärlich.

Gelb. Die Cohn'schen Gelbblaublinden nannten die Contrastfarbe entweder blau, schwarz oder braun.

On. nennt diesen Contrast schwarz oder grau.

Grün. Mit einem solchen Glase machten die 5 Gelbblaublinden von Cohn der Reihe nach folgende Angaben: bläulich und röthlich; schwarz; schwarz und roth; lila; unbestimmt. Der Minder'sche Farbenblinde nannte diesen Contrast: grau, grün, violett.

Die Angabe On.'s stimmt mit jener der Farbentüchtigen vollkommen überein [blassroth (rosa)].

Blau. Die Cohn'schen Farbenblinden nannten den Contrast schwarz oder lila. Der von F. Minder erklärte beide Ringe für blau, und wählte violette, blaue, gelbe, orange Wollbündel.

Dem Hilbert'schen Blaugelblinden erscheinen die schwarzen Quadrate (bei Anwendung des blauen Kobaltglases) schwarz.

On.'s Angabe über den entsprechenden Contrast ist: gelblich mit etwas grau; dunkelgraugelblich; graugelblich; weisslich gelblich. On. macht, wie oben angeführt, wenn der Contrast hell ist, kaum einen Fehler, und erst, wenn derselbe sehr dunkel ist, treten die falschen Bezeichnungen auf und zeigen sich die Verwechslungen im Aussuchen der entsprechenden Wollbündel[1]).

X. Schattenversuche.

1) Blau-Violett-Blinder und Roth-Grün-Blinder.

Zur Vornahme dieser Versuche benützte ich gefärbtes Tageslicht, wie zuerst Helmholtz[2]) angab; Hering[3]) modificirte

1) Vergleiche Tab. XLIXa und Tab. L.

2) H. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig 1867, S. 395.

3) E. Hering, Eine Vorrichtung etc. cit. oben S. 460.

diese Methode in neuester Zeit in einer sehr zweckmässigen Art und ich habe daher getrachtet, diese Einrichtung, so weit es thunlich war, zu verwenden.

Eine Dunkelkammer steht mir nicht zur Verfügung, daher half ich mir dadurch, dass ich nach Schliessung der schwarz gefärbten Fensterläden auf einem mit schwarzem Wollpapier bedeckten Tisch einen aus gleichem Papier angefertigten grossen Schirm aufstellte. Vor diesem war eine kleine Fläche von weissem Barytpapier aufgestellt, auf welche der schwarze Stab die zwei Schatten warf, die sich ohne irgend eine Trennungslinie nebeneinander befanden. Die beiden Schatten nahmen auch die ganze Breite und Länge des weissen Papiers in Anspruch, so dass nirgends ein Rand freiblieb.

Beide in dem geschwärzten Fensterschirm angebrachten Spalten hatten eine Höhe von 49 cm und eine Breite von 9 cm, und ich suchte ferner, insoweit die nicht sehr entfernten hohen Berge es mir gestatteten, alle von Hering angegebenen Bedingungen zu erfüllen.

Nachdem die beiden Schatten für mein Auge die gleiche Helligkeit hatten, wurden die Beobachter hereingerufen, welche, nachdem ihre Augen für kurze Zeit ausgeruht hatten, die Namen der gesehenen Farben niederschreiben mussten.

Einige Beobachtungen wiederholte ich an verschiedenen Tagen. Dass es mir in solchen Fällen meistens gelang, die gleichen Farbentöne zu erzielen, ersieht man daraus, dass, obwohl die angewendete Menge weissen Lichtes das zweite Mal etwas verschieden im Vergleiche zum ersten war, die Angaben des Farbentüchtigen doch eine gute Uebereinstimmung zeigen.

In folgender Tab. LI finden sich die bei den drei Beobachtern erhaltenen Versuchsergebnisse, von denen aber nur die On.'s unser Interesse in Anspruch nehmen.

Tabelle LI.

Roth 49 cm, Weiss I 4 cm, II 3,5 cm.

Pos.	I. roth, blaugrün.
	II. roth (carmin), blaugrün.
Mes.	I. sehr dunkel schmutziggelb, sehr licht schmutzigblau.
	II. intensiv dunkelgelb, blass lichtblau.

On. { I. roth, sehr dunkelgrau.
II. roth mit sehr schwachem lichtgrau, ziemlich dunkelgrau.

Gelb 49 cm, Weiss I 18 cm, II $23^1/_2$ cm.

Pos. { I. gelb, blau.
II. gelb, blau.

Mes. { I. kräftig gelb, blau ziemlich rein.
II. intensiv rein gelb, blau.

On. { I. gesättigtes gelb, dunkelgrau.
II. sehr schmutziges gelb, hellgrau.

Grün 49 cm, Weiss I 9 cm, II 9 cm.

Pos. { I. grün, roth.
II. grün, roth.

Mes. { I. schmutziggelb, schmutzigblau.
II. schmutziggelb, schmutzigblau.

On. { I. grün, rosenroth ein wenig schmutzig.
II. grün, rosenroth ein wenig schmutzig.

Blau 49 cm, Weiss I 12 cm, II 14 cm.

Pos. { I. blau, gelb.
II. blau, gelb.

Mes. { I. kräftig rein blau, sehr schmutziggelb.
II. sehr schön intensiv blau, etwas schmutziggelb.

On. { I. dunkelgrau, gelb.
II. deutlich grau, gelb sehr grau.

Anmerkung. Die Grösse der vom Himmelslichte beleuchteten Fläche des farbigen Glases ist bei beiden Versuchen (I und II) gleich; die Grösse dagegen der beleuchteten Fläche des weissen Glases bei beiden Versuchen ist in Centimeter nach den römischen Zahlen I und II angeführt.

On. erkennt und benennt genau das objective Roth und Gelb; er ist auch den gleichen durch Induction entstandenen Farbenempfindungen zugänglich.

Das objective Grün wird von ihm ebenfalls erkannt und richtig benannt; reines Grün kam als inducirte Farbe nicht vor, da das rothe Glas einen blaugrünen Contrast hervorrief.

Das objective Blau wird von On. als Grau bezeichnet und eben dieses durch das von On. objectiv gesehene Gelb inducirt.

Ausser den eben angeführten Beobachtungen habe ich auch solche vorgenommen, bei welchen in jeder Spalte des Fensterschirmes ein farbiges Glas eingelegt war; da aber diese Beobach-

tungen genau dieselben Ergebnisse lieferten wie die vorhergehenden, so unterlasse ich deren Anführung.

Nach der Methode von Hering ist es auch möglich, zwei Farben in allen denkbaren Abstufungen mit einander zu mischen und da auch die Menge des Weiss ebenso abstufbar ist, so ist die Zahl der Farben-Töne und Nüancen, welche man den beiden Schatten geben kann, eine so grosse, dass es absolut unmöglich ist, alle durchzuprüfen. Eine solche Untersuchung hätte aber auch einen sehr geringen Werth, daher beschränkte ich mich nur auf einige Farbenmischungen, die eine Bedeutung haben könnten.

Ich habe auch bei diesen Versuchen getrachtet, an beiden Schatten für mein Auge die gleiche Intensität zu erzielen.

Ueber die Resultate dieser Untersuchung gibt folg. Tab. LII. Aufschluss.

Tabelle LII.

I. Blau 32 cm + Gelb 17 cm, Weiss 15,5 cm.

Pos.: Purpur mit Stich ins Roth, schmutziggrün [1]).
Mes.: Blass schmutzigblau, blass schmutziggelb.
On.: Grau mit rosenrother Färbung, schmutziggrün.

II. Blau 26 cm + Roth 23 cm, Weiss 9,5 cm.

Pos.: Violett, schmutzig gelbgrün [2]).
Mes.: Himmelblau, schmutziggelb.
On.: Deutlich grau, deutlich schmutziggelb.

III. Roth 25 cm + Grün 24 cm, Weiss 6 cm.

Pos.: Grünlich, violett [3]).
Mes.: schmutziggelb, schmutzigblau.
On.: Grau mit gelblicher Färbung, hellgrau.

---

1) Bei Wiederholung des Versuches mit Pos. und St. (Farbentüchtige) waren die Resultate:
Inducirende Farbe Pos.: violett, St.: bläulichrosa.
Inducirte Farbe Pos.: gelblichgrün, St.: schwach grünlichgelb.

2) Bei Wiederholung des Versuches mit Pos. und St.:
Inducirende Farbe Pos.: bläulich, St.: lichtviolett.
Inducirte Farbe Pos.: grünlichgelb, St.: lichtgelb.

3) Die Wiederholung des Versuches mit Pos. und St. ergab:
Inducirende Farbe Pos.: gelbgrün, St.: gelb mit grünlichem Schimmer.
Inducirte Farbe Pos.: grauviolett, St.: blassviolett.

Bei der Mischung Blau und Gelb (I) erhält man nach Aussage des Farbentüchtigen ein Purpur mit einem Stich ins Rothe und als Contrastfarbe ein schmutziges Grün. Da mir die Angabe des einen Farbentüchtigen allein unverlässlich vorkam, so wiederholte ich einige Monate später diese Beobachtung mit ihm und einem anderen Farbentüchtigen (St.) (vergl Note 1 S. 524). Ihre Angaben stimmten mit den früheren genügend überein, wenn man bedenkt, dass die Beleuchtungsverhältnisse sehr wahrscheinlich beide Male nicht vollkommen identisch sein konnten.

On. sah Grau mit rosenrother Färbung und als Contrast schmutzig Grün.

Mes. schmutzig Blau und schmutzig Gelb.

Diese Beobachtung hat eine besondere Bedeutung, da dieselbe ergänzt was in Tab. LI fehlt, nämlich dass On. auch der Empfindung eines durch Induction entstandenen Grün fähig ist.

Bei der Mischung Roth und Blau (II) erhält man Violett, der Farbentüchtige sah als Contrast schmutzig Gelbgrün. (Vergl. auch Note 2, S. 524.)

On. erschien das Violett deutlich grau, die Contrastfarbe bezeichnet er als Gelb.

Mes. gab Himmelblau und schmutzig Gelb an.

Aus dieser Beobachtung geht hervor, dass On. ebenso wie für reines Blau als Contrast einer Farbe (von Farbentüchtigen bald als violett bald als bläulich bezeichnet), die er nicht sieht, Gelb erhält.

Die Mischung von Roth und Grün (III), welche von Farbentüchtigen bald als grünlich, bald als gelbgrün (vergl. Note 3 S. 524), und deren Contrastfarbe als violett bezeichnet wird, benennt On. Grau mit gelblicher Färbung und die inducirte Farbe Hellgrau.

Aus dieser Beobachtung entnimmt man, dass On. auch das inducirte Violett nicht wahrnimmt; es ist weiter bemerkenswerth, dass er das Grünliche der inducirenden Farbe als Grau mit gelblicher Färbung bezeichnete, aber erklärlich durch seine Unterempfindlichkeit für Grün (siehe oben S. 492).

Mes. bezeichnete die zwei Farben als schmutzig Gelb und schmutzig Blau.

Ueber die Frage, ob On. auch bei diesen Versuchen wirklich das inducirte Gelb wahrnimmt, konnte nur ein Versuch in Verbindung mit der Wollprobe Auskunft geben; da jedoch eine

solche Probe im verdunkelten Zimmer unausführbar ist, schlug ich folgendes Verfahren ein:

Eine Spalte des Fensterschirmes wird mit dem blauen Glase, die andere mit so viel mattem farblosen Glase bedeckt, dass On. bei geöffneten Läden des benachbarten Fensters einen deutlichen inducirten gelben Schatten sehen konnte. Dieser Schatten wird von ihm richtig als Gelb bezeichnet. Die Wollbündel lagen auf einem vom Tageslicht gut beleuchteten Tisch.

Tabelle LIII.

Zwei sehr hellgelb (eines als Muster Nr. VI Tab. XXXIX), ein sehr hell graugelblich, ein hellorange (als Muster Nr. II), ein gelb (als Muster Nr. IX), ein graugelblich, zwei sehr hell gelbbraun, ein etwas dunkler gelbbraun.

On. übergab mir 9 Wollbündel, die alle (vergleiche vorstehende Tab. LIII) mehr oder weniger gelb waren; er machte gar keinen Fehler, der auf eine unrichtige Wahrnehmung der inducirten Farbe einen Schluss gestattet hätte.

Die anderen inducirten Farben habe ich mit Wolle nicht nachlegen lassen, da ich dies Verfahren schon bei den Spiegelcontrastversuchen angewandt hatte, und weil die von On. benutzten Benennungen der Contrastfarben mit jenen von den Farbentüchtigen gebrauchten bis auf kleine unbedeutende Unterschiede übereinstimmten.

Da es gewiss höchst auffallend ist, dass On. die bei Farbentüchtigen von Blau inducirte gelbe Farbe wahrnimmt, wie die eben mitgetheilten Spiegel- und Schattenversuche darthun, während er das Blau und Violett (vergl. vorzugsweise die Farbengleichungen) nur als grau sieht, so glaubte ich noch ermitteln zu müssen, wie viel Weiss man mit Blau mischen darf, damit On. den inducirten gelben Schatten noch als gelblich erkenne. Zu diesem Zweck war eine ganze Spalte beständig mit dem weissen Glase bedeckt; in die andere Spalte legte ich ein blaues und ein weisses Glas ein und veränderte nach und nach das Verhältnis dieser beiden. Die Angaben On.'s wurden mit meinen eigenen verglichen; die erhaltenen Resultate sind in folgender Tab. LIV mitgetheilt, in welcher ich aber blos die inducirte Farbe anführe.

Tabelle LIV.

Eine Spalte constant 49 cm Weiss, die andere Spalte:

$43^1/_2$ Blau, $5^1/_2$ Weiss.
V.: gelb, On.: graugelb.

36 Blau, 13 Weiss.
V.: gelb, On.: gelb.

34 Blau, 15 Weiss.
V.: gelblich, On.: grau mit zweifelhafter gelblicher Färbung.

$32^1/_2$ Blau, $16^1/_2$ Weiss.
V.: graugelblich, On.: sehr wahrscheinlich gelblich.

29 Blau, 20 Weiss.
V.: ungemein schwach gelblich, On.: grau.

Die eben mitgetheilten Ergebnisse zeigen, dass, wenn der Schatten eine graugelbliche Farbe hat, On. nicht mehr ganz sicher die Färbung erkennt, der Schatten muss aber eine sehr schwache gelbliche Färbung haben, damit On. dieselbe mit Sicherheit als grau bezeichne. Dieser Versuch stimmt in dem Resultat mit jenem über die Empfindlichkeitsgrenze für Gelb (siehe oben S. 490) überein.

2) Vergleich mit den Resultaten der anderen Forscher.

Stilling[1]) und Cohn[2]) haben ihre Farbenblinden ebenfalls mit den farbigen Schatten untersucht. Zu diesen Beobachtungen benutzte Cohn künstliches Licht; ob Stilling in allen Fällen ein solches gebrauchte, kann ich nicht mit Sicherheit entnehmen; er macht aber (S. 14) aufmerksam, dass der complementäre Schatten verschieden ist je nachdem man künstliches oder Tageslicht anwendet. Ausserdem wäre zu erwähnen, dass auch die Färbung und Helligkeit der angewandten farbigen Gläser von Bedeutung ist.

Behufs Vergleichung der Stilling'schen und Cohn'schen Resultate mit den bei On. gefundenen möchte ich folgendes erwähnen:

Den Contrast des Rothen nannten die Farbenblinden von Stilling meistens grün, andere aber auch gelb, dann auch blau, blauschwarz, oder grün; jene von Cohn: gelb, grün, braun, weiss.

---

1) J. Stilling, Beiträge etc. Ueber die angeborene etc. cit. oben S. 452 und Beiträge etc. Ueber Blaugelbblindheit etc. cit. oben S. 452.

2) H. Cohn, Studien etc. cit. oben S. 435.

On. nannte diesen Contrast grau (siehe ob. S. 522 u. folg.).

Der Contrast von Grün wurde von Stilling's Farbenblinden meistens als roth bezeichnet; einer nannte ihn gelblich und ein anderer bald lila, bald goldgelb. Die Farbenblinden Cohn's sahen diesen Contrast als lila, rosa, hellroth und braunroth an.

Für On. war dieser Contrast immer rosaroth.

Die Angaben über den Contrastschatten von Gelb waren bei den Farbenblinden Stilling's: schwarz, grau, farblos; bei denen von Cohn: dunkelbraun, schwarz, weiss.

On. nannte diesen Contrast grau.

Für Blau hatten die Stilling'schen Farbenblinden als Contrast: schwarz, braun, grau, schwarzblau, roth (undeutlich); die von Cohn nannten diesen Contrast: rosa, grau und roth.

On. erklärte diesen Contrast als gelb.

Aus dieser Zusammenstellung entnimmt man, dass On. sich wesentlich von den Blaugelbblinden von Stilling und Cohn unterscheidet; keiner von diesen hatte auf Blau die Contrastfarbe Gelb.

Die Contrastfarbe auf Gelb ist dagegen sowohl bei den Blaugelbblinden von Stilling und Cohn, wie auch bei On. niemals farbig.

Es war mein Wunsch, noch weitere Beobachtungen an den beiden Farbenblinden vorzunehmen; da aber dieselben in Folge der eingetretenen Herbstferien Innsbruck verlassen haben, so musste ich die Beobachtungen unterbrechen. Ich hoffe jedoch, dass es mir gelingen wird, im Verlaufe des nächsten Schuljahres diese Untersuchung fortzusetzen.

(Aus dem Laboratorium von Prof. Soxhlet in München.)

Ueber Fick's Theorie der Labwirkung und Blutgerinnung.

Von

Dr. **P. Walther,**

Privatdocent der Kaiserlichen Medizinischen Akademie in St. Petersburg.

Im 45. Bande dieser Zeitschrift entwickelt A. Fick unter dem Titel „Ueber die Wirkungsart der Gerinnungsfermente" eine neue Theorie der Fermentwirkung, welche für die Coagulation der Milch durch Lab und für die Blutgerinnung Geltung haben soll. Die bisherige Anschauung über die Wirkung der ungeformten hydrolytischen Fermente, nach welcher ein Molekül des Fermentes mit einem Molekül des umzusetzenden Körpers in Wechselwirkung trete, wobei die gebildete Verbindung durch Wasser zersetzt, das Fermentmolekül wieder hergestellt und gleichzeitig Hydratationsprodukte des umzusetzenden Körpers entstehen, — passe nicht auf die Fibringerinnung und die Gerinnung durch Lab; letztere Gerinnungserscheinungen machten eine Ausnahme von anderen Fermentwirkungen, insofern bei diesen „der irgendwo durch Fermentmoleküle angeregte Process sich von Molekül zu Molekül der umzusetzenden Substanz fortpflanze, ohne dass von Neuem Fermentmoleküle mitzuwirken brauchen".

Fick glaubt bewiesen zu haben, dass „nicht jedes Caseinmolekül mit einem Fermentmolekül in Berührung zu kommen brauche, um zu gerinnen", und dass, was er für die Caseingerinnung gefunden habe, „ohne Zweifel auch für die Blutgerinnung gelten müsse".

Die beigebrachten Beweise bestehen in Folgendem:

1) Die Milchgerinnung durch Labferment erfolge sozusagen „blitzartig" durch die ganze Masse. Bei der Käseerzeugung nehme der Senne eine kleine Hand voll Käselab, fahre damit einigemale in dem Kessel, der mehr als einen halben Cubikmeter Milch enthält, herum und in wenigen Minuten sei die ungeheure Masse

durch und durch geronnen. Kein Mensch werde daran denken, dass die kleine zähe Masse sich so gleichmässig vertheilt habe, dass jedes Caseinmolekül mit einem Fermentmolekül in Berührung gekommen wäre.

2) Fick überschichtete in einem kleinen Reagenzglase einige Tropfen Labmagen-Glycerin-Auszug mit Milch von 40° C. und stellte dann das Reagenzglas in ein Wasserbad von gleicher Temperatur; nach kaum einer Minute war regelmässig die ganze Milch bis obenhin geronnen.

Die von Fick als „allgemein bekannte Thatsache" angegebene Art der Milchgerinnung in der Praxis der Käsefabrikation existirt aber ganz bestimmt nicht.

Herr Prof. Soxhlet, gewiss ein genauer Kenner der milchwirthschaftlichen Praxis, ermächtigte mich, von folgenden Angaben, welche er mir über diesen Gegenstand machte, hier Gebrauch zu machen:

A) Ist es eine unbestrittene Erfahrungssache und eine Hauptregel im Käsereibetriebe, dass die Labflüssigkeit möglichst innig und gleichmässig mit der Milch gemischt werden muss, wenn ein homogenes Coagulum, ein „gleichmässiger Bruch" erzielt werden soll, was für eine gleichmässige Reifung des Käses unerlässlich ist.

B) Bei der Darstellung keiner einzigen Käsesorte findet die Gerinnung „blitzschnell" oder „in wenigen Minuten" statt; bei der Bereitung des Emmenthaler Käses dauert die Gerinnung durchschnittlich 30 Minuten, bei französischen Weichkäsen (Brie und Camenbert) 3 bis 5 Stunden; das Minimum der Gerinnungszeit ist im Allgemeinen 20 Minuten.

Den Ueberschichtungs-Versuchen Fick's stelle ich die folgenden, von mir ausgeführten entgegen:

Nachdem ich mich zunächst an gefärbten Glycerinlösungen überzeugt hatte, dass trotz aller angewandten Vorsicht es nicht möglich war, nach Fick einige Tropfen dieser Flüssigkeit in einem Reagenzglase mit Milch zu überschichten, ohne dass eine mehr oder minder weitgehende Mischung beider Flüssigkeiten stattfindet, wählte ich andere Versuchsanordnungen, welche den beabsichtigten Zweck in vollkommenerer Weise erreichen liessen.

Als Fermentlösung bediente ich mich einer wässrigen Lösung trockenen Labpulvers, welches von Herrn Prof. Soxhlet nach dessen Verfahren (Milchzeitung 1877, 499) hergestellt war und

von welchem ein Theil genügte, eine Million Theile Milch bei 35° C. in 40 Minuten zur Gerinnung zu bringen. Die klar filtrirte Lösung wurde eventuell auf ein bestimmtes höheres specifisches Gewicht durch Zusatz von Rohrzucker gebracht.

Ein überall gleich weites U-Rohr von 32 mm Durchmesser und 220 mm Schenkellänge, ca. 400 ccm fassend, wurde in ein grosses, als Wasserbad dienendes Becherglas eingesetzt und mittelst Stativs fest eingespannt. Das Becherglas stand auf einem massiven Dreifuss, letzterer auf einem an die Wand angeschraubten Tischbrett. Hiemit waren alle Bedingungen thunlichst erfüllt, um Erschütterungen auszuschliessen. Zur Vermeidung von Flüssigkeitsströmungen, welche als Folge von Temperaturänderungen auftreten, und um gleichzeitig eine für die Labwirkung günstigere höhere Temperatur herstellen zu können, war das als Wasserbad dienende Becherglas mit einem Soxhlet'schen Temperatur-Regulator (unabhängig von Barometer- und Gasdruckschwankungen) versehen und die Temperatur auf 35,0° C. erhalten. (Diff. weniger als 0,1° C.)

In das U-Rohr wurden 300 ccm mittelst der Centrifuge fast vollständig entrahmter Milch gebracht, welche schon vorher auf 35° erwärmt war, und das Niveau des Wasserbades so regulirt, dass die beiden Schenkel nur 1 cm aus dem Wasser ragten, die Oberfläche der Milch aber einige Centimeter unter der Wasserfläche lag.

Die Verwendung möglichst entrahmter Milch hatte den Zweck, Bewegungen in der Flüssigkeit durch Rahmbildung, welche in der Wärme besonders rasch vor sich geht, zu verhindern; denn selbstredend befindet sich die Milch während der Aufrahmung nicht im Ruhezustande, sondern der Ortswechsel der aufsteigenden Fetttröpfchen ist mit Flüssigkeitsbewegungen im Ganzen verbunden.

Nachdem die schon vorher auf 35° gebrachte Milch eine halbe Stunde im Wasserbade gestanden, wurde sie in dem einen Schenkel mit 2,5 ccm einer Lablösung überschichtet, welche so stark war, dass die 300 ccm Milch, mit genannter Fermentmenge gemischt, bei 35° C. in 15 Sekunden zur Gerinnung kamen. Die Ueberschichtung wurde in der Weise ausgeführt, dass ich die Fermentlösung aus einer Pipette ausfliessen liess, deren fein ausgezogene Spitze an die Gefässwandung angelegt war. Durch das durchsichtige Wasserbad konnte nun folgendes beobachtet werden:

Nach Verlauf einer Minute zeigte sich an der Berührungsfläche

von Lab und Milch deutlich ein Gerinnsel; nach und nach vergrösserte sich die Gerinnungsschicht; nach Verlauf von 3 Stunden machten sich in dem Schenkel, in welchem sich die Fermentlösung befand, Streifen von ausgetretenen Molken bemerkbar, die sich immer tiefer herabsenkten und nach 4 Stunden bis etwa auf die Hälfte des genannten Rohrschenkels herabreichten. In dem andern Schenkel war nach dieser Zeit absolut keine Veränderung zu bemerken und eine mittelst eines Glasröhrchens vorsichtig herausgehobene Probe erwies sich als völlig unveränderte Milch. Erst nach sieben Stunden war die Milch im zweiten Schenkel geronnen.

Bei einer dreimaligen Wiederholung des Versuches trat diese Gerinnung nach 5, 6 und bei Anwendung ganz frisch gemolkener und sofort centrifugirter Milch nach 8 Stunden ein.

In einem in gleicher Weise ausgeführten Versuche konnte ich nach 5stündigem Stehen durch vorsichtiges Neigen des U-Rohres von der geronnenen Parthie 260 ccm, allem Anscheine nach unveränderte Milch abgiessen, die indessen bei weiterem Stehen bei 35 ° in 20 Minuten gerann.

In allen diesen Versuchen, in welchen eine Vermischung der Milch durch die Anwendung eines U-Rohres und die weiter getroffenen Anordnungen thunlichst vermieden war, gerann die Milch weder „blitzartig“ noch „in einigen Minuten“, sondern erst nach vielen Stunden, trotz der Anwendung einer so grossen Fermentmenge, dass die Milch in 15 Sekunden geronnen wäre, wenn man sie mit der Fermentmenge gemischt hätte. Warum nach Verlauf von 5 bis 8 Stunden schliesslich doch noch Gerinnung eintrat, will ich noch besprechen.

Eine andere Versuchsanordnung war die folgende:

In ein 25 mm weites, unten zugeschmolzenes Glasrohr wurden 250 ccm, auf 35° C. erwärmte Milch gebracht und das Glasrohr in dem beschriebenen Wasserbade befestigt. In dem Glaszylinder wurde ein längeres, 5 mm weites Glasrohr centrisch fixirt, so dass es mit seiner fein ausgezogenen Spitze den Boden berührte. In dieses Glasrohr wurden 2,5 ccm einer Lablösung gebracht, welche ein höheres specifisches Gewicht — nämlich 1,045 — hatte als die Milch, und so stark war, dass die angewandte Fermentmenge, mit dem genannten Milchquantum gemischt, letzteres in 12 Sekunden zur Gerinnung brachte. Nach diesem Verfahren konnte ich in einer zuverlässigeren Weise als es mir nach Fick's Angaben

möglich war, eine Ueberschichtung erzielen, bei welcher sich die Lablösung unter der Milch befand.

Die Milch war in der oberen Schicht nach 3, und in einem 2. Versuch nach 2 Stunden geronnen.

Schliesslich kamen noch Gerinnungsversuche bei gewöhnlicher Zimmer-Temperatur zur Ausführung. Die Caseingerinnung durch Lab geht in der Kälte ebenso vor sich wie in der Wärme — selbst bei 0° — nur bedeutend langsamer; oder um gleiche Gerinnungszeiten zu erhalten, sind bedeutend grössere Fermentmengen nöthig.

Zu diesen Versuchen wurden 5 Büretten von 11 mm Weite, welche mit Quetschhahnverschluss versehen waren, verwendet. Jede Bürette wurde mit 60 ccm frischer centrifugirter Magermilch beschickt und letztere nach Annahme der Zimmertemperatur mit 2,5 ccm Lablösung in der früher angegebenen Weise überschichtet. Die Fermentlösung hatte ein niedrigeres specifisches Gewicht als die Milch — 1,20 — und brachte die angegebene Milchmenge, wenn mit ihr gemischt, in 40 Minuten bei 17° C. zur Gerinnung. Die Temperatur des Raumes schwankte zwischen 17,0 und 18,3° C. Nach einer Stunde war etwa 1 ccm der oberen Milchschicht deutlich geronnen. Nach 24 Stunden konnten aus einer Bürette 48 ccm, nach 27 Stunden aus der zweiten 38 ccm ungeronnene Milch abgelassen werden; der Inhalt der 3. und 4. Bürette war nach 32 Stunden geronnen, während der Inhalt der 5., welche nur Milch allein enthielt, erst nach 48 Stunden geronnen war.

Aus allen diesen Versuchen ergiebt sich also übereinstimmend, dass bei einer sorgfältig ausgeführten Ueberschichtung der Milch mit einer sehr kräftigen Labfermentlösung — oder bei Ueberschichtung der Lablösung mit Milch — keineswegs solche Erscheinungen auftreten, welche in irgend einer Weise zu den weitgehenden Schlüssen berechtigen, die Fick aus seinen Versuchen gefolgert hat. Dass auch unter den günstigsten Verhältnissen für die Erhaltung der schichtenweisen Flüssigkeitslagerung schliesslich doch eine Fermentwirkung durch die ganze Masse erfolgt, liegt in ganz anderen Verhältnissen, die viel klarer sind als die mysteriöse Fernwirkung, welche Fick dem Labfermente und — eigentlich ohne jede experimentelle Berechtigung — auch dem Gerinnungsfermente des Blutes zuschreibt.

Die schliesslich doch erfolgende Einwirkung des Ferments auf die entfernter liegenden Milchschichten ist nur darauf zurück-

zuführen, dass nach längerer Zeit, auch bei möglichster Ausschliessung von Bewegungsvorgängen, Ferment in jene Schichten gelangt.

Sieht man auch von Flüssigkeitsströmungen ab, welche durch Temperaturdifferenzen in verschiedenen Schichten verursacht werden und absolut nie auszuschliessen sind, so lässt sich doch eine Bewegung der Flüssigkeit bei der Milchgerinnung durch Lab, aus folgenden Gründen nicht vermeiden:

Die Gerinnung unbewegter Milch durch das genannte Ferment erfolgt in der Weise, dass zunächst die ganze Masse zu einer Art Gallerte erstarrt; beim ruhigen Stehen der so geronnenen Masse zieht sich das Gerinnsel zusammen, wobei es die Form des Gefässes beibehält, und lässt Serum, d. i. Molkenflüssigkeit, austreten. Je länger die Masse steht, je höher die Temperatur und je grösser die einwirkende Fermentmenge, um so rascher der Verlauf dieses Scheidungsvorganges. Bei der Gerinnung fettreicher Vollmilch schwimmt das zusammengezogene Gerinnsel meistens in der Flüssigkeit, weil das leichtere Fett von dem Coagulum mit eingeschlossen wird; bei fettarmer oder Magermilch sinkt das Gerinnsel zu Boden. Das Austreten von Flüssigkeit und die Bildung eines sich contrahirenden Gerinnsels muss nothwendiger Weise mit einer Bewegung der Flüssigkeitsschicht, in welcher dieser Process vor sich geht, verbunden sein; diese Bewegung kann auf die Ruhelage der zunächst liegenden Milchschicht nicht ohne jede Einwirkung bleiben, es muss vielmehr auch in dieser Bewegung — und damit Mischung mit der gerinnenden Schicht — eintreten, welche wieder Weiterschreiten der Gerinnung und damit Weitervordringen des Fermentes zur Folge haben muss.

Von noch grösserem Einfluss auf die Mischung beider Flüssigkeiten muss aber die Sonderung der Milch in ein specifisch schwereres Gerinnsel und in ein specifisch leichteres Serum sein; hier muss die Wirkung der Schwerkraft zur Geltung kommen: Das Gerinnsel muss herabsinken, das Serum muss aufsteigen, was ohne Mischung und Eindringen von Ferment in bis dahin fermentfreie Schichten gar nicht denkbar ist.

In meinen Versuchen, in welchen die Lablösung die untere, die Milch die obere Schicht bildete, trat die Gerinnung in der von der Labschicht entferntesten Milchparthie relativ am schnellsten ein, weil abgesehen davon, dass die Schichtenbildung nach dieser Versuchsanordnung am schwierigsten auszuführen ist, das Auf-

steigen des specifisch leichteren Milchserums für die Ueberführung von Ferment in fermentfreie Schichten zweifelsohne günstiger ist, als das Hinabsinken von Gerinnsel bei umgekehrter Reihenfolge; denn die aufsteigenden Molken enthalten das Labferment gelöst, die herabfallenden Gerinnsel das Ferment eingeschlossen.

Ebensowenig wie ein Diffusionsversuch mit zwei übereinander geschichteten Flüssigkeiten einen Sinn haben würde, in welchem die eine Flüssigkeit sich während des Versuches in einen specifisch schwereren, festen Körper und in eine specifisch leichtere Flüssigkeit trennen würde, welche letztere leichter ist als die überschichtete, ebensowenig kann der Milch-Lab-Ueberschichtungsversuch als ein solcher betrachtet werden, bei welchem nur die Gesetze der Diffusion in Betracht kommen.

Der Verlauf der geschilderten Vorgänge braucht keineswegs als ein stürmischer angenommen zu werden, denn man muss bedenken, dass die Fermentmengen, welche für das Zustandekommen der Gerinnung nothwendig sind, ausserordentlich klein sind, und insbesondere nur einen minimalen Bruchtheil jener Mengen darstellen, welche in der überschichteten Flüssigkeit enthalten sind.

Nach Soxhlet (Milchzeitung 1877, 531) sind die Gerinnungszeiten den Labfermentmengen, welche auf ein bestimmtes Milchquantum zur Einwirkung gelangen, umgekehrt proportional. In den U-Rohrversuchen wurden 300 ccm Milch und 2,5 ccm Lablösung verwendet; letztere war so stark, dass wenn sie mit der Milch gemischt wurde, diese in 15 Sekunden zur Gerinnung brachte.

Um die gleiche Milchmenge bei derselben Temperatur in 1 bis 8 Stunden gerinnen zu machen, wären anstatt der 2,5 ccm Lablösung erforderlich gewesen 0,0104 bis 0,0013 ccm, resp. der 240. bis 1920. Theil der überschichteten Menge.

Hiezu kommt weiter, dass die Labwirkung sehr stark durch eine höhere Acidität der Milch begünstigt wird. So fand F. Söldner in Soxhlet's Laboratorium, dass eine frische Milch, welche 7,0 ccm Viertel-Normal-Natronlauge zur Neutralisation brauchte (nach Soxhlet-Henkel 4 ccm 2% iger alkoholischer Phenophtaleinlösung auf 100 ccm Milch), nur ein Fünftel jener Labmenge nothwendig hatte, welche die gleiche Milch, die auf die Acidität 5,0 gebracht war, erforderte. (Landw. Versuchsstationen 35, „Die Salze der Milch etc.") Nach Soxhlet-Henkel (noch nicht veröffentlichte Untersuchungen) entspricht die Aciditätszunahme bei

frischer Milch nach 7 bis 8stündigem Stehen bei 35 ° C. 1 ccm Viertel-Normal-Natronlauge[1]).

Wenn also in dem einen Versuch mit frischer Milch nach 8 Stunden die ganze Masse geronnen war, so brauchte in die nun sauer gewordene entfernteste Milchschicht nur $^1/_5$ jener Fermentmenge überzugehen, welche zur Coagulation der frischen Milch nothwendig war.

Die obere Hälfte der Milchschicht in einem Schenkel des U-Rohres entsprach ca. 50 ccm, also $^1/_6$ der ganzen Menge, hätte demnach 0,42 ccm Lablösung gebraucht, um in 15 Sekunden zu gerinnen; die genannte Milchschicht zeigte nach 7 Stunden noch nicht, wohl aber nach 8 Stunden Gerinnung; war nach dieser Zeit die früher genannte minimale Säurezunahme eingetreten, so war nunmehr nur $^1/_5$ der Labmenge wie für Milch vom ursprünglichen Säuregrad nöthig, nämlich 0,084 ccm; da diese Menge die Gerinnung in 15 Sekunden bewirkte, so war für das Zustandekommen der Coagulation in 1 Stunde wiederum nur der 240. Theil der zuletztgenannten Menge erforderlich, d. i. 0,00035 ccm oder der 7200. Theil der überschichteten Fermentlösung!

Das verwendete Labpulver mit der Wirkung von 1: einer Million enthielt 64 % Asche, zumeist Kochsalz (siehe Söldner a. a. O.); 1 Theil der organischen Substanz dieses Pulvers genügte also, um 2,8 Millionen Theile frischer Milch von mittlerer Acidität bei 35 ° C. in 40 Minuten zur Gerinnung zu bringen. Hiernach berechnet sich, dass in obengenannten 0,00035 ccm Fermentlösung 0,012 Milligramm von der organischen Substanz des Labpulvers enthalten war!

Das Hineingelangen eines so minimalen Theils der überschichteten Fermentlösung in das entfernteste $^1/_6$ der Milchschicht nach Verlauf von 7 Stunden, und unter Bedingungen, unter welchen eine Ruhelage der einzelnen Flüssigkeitsschichten gar nicht möglich ist, bietet aber gewiss keinen ausreichenden Anlass, den Boden der chemischen Mechanik, auf welchem wir mit unsern Anschauungen gegenwärtig stehen, zu verlassen und eine neue Fermenttheorie zu construiren, die das Dunkel in der Lehre von den Fermentwirkungen noch mehr zu verdunkeln geeignet ist.

1) Etwa der 25. Theil der Säuremenge, welche sich bis zur freiwilligen Gerinnung der Milch bildet.

Der „Le Cat'sche Versuch" und die Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut.

Von

Dr. **G. Wallenberg.**

Mit 2 Holzschnitten.

Vor einer Reihe von Jahren mit Beobachtungen über die Vergrösserung resp. Verkleinerung von Gegenständen beschäftigt, welche durch eine kleine Oeffnung, z. B. ein Loch in einem Kartenblatte, hindurch angeschaut werden, entdeckte ich durch Zufall die mir damals noch unbekannte Erscheinung, welche mit dem Namen des Le Cat'schen Versuches bezeichnet wird[1]. Der Le Cat'sche Versuch in der Anordnung, wie ich ihn angestellt, besteht kurz in Folgendem: Man bringe vor eines der beiden Augen diesseit des Nahepunktes desselben einen Lichtpunkt, z. B. eine beleuchtete Perle, den beleuchteten Kopf einer Stecknadel oder am besten eine kleine Oeffnung in einem Kartenblatte, durch welche die Strahlen einer dahinter befindlichen Lichtquelle fallen, so entsteht bekanntlich auf der Netzhaut ein sogenannter Zerstreuungskreis, indem der von dem Lichtpunkt ausgehende Strahlenkegel, dessen Basis die Pupille des Auges bildet, durch die lichtbrechenden Medien des Auges in einen Strahlenkegel umgewandelt wird, dessen Spitze hinter der Netzhaut liegt, aus welchem also die Netzhaut einen kleinen Lichtkreis ausschneidet. Der Lichtpunkt erscheint daher dem Beobachter als Zerstreuungskreis. Bringt man nun dicht vor das

1) Le Cat, Traité des Sensations et des Passions. Tome second. Paris 1767, pag. 507. Ueber die sonstige wenig umfangreiche Literatur siehe die Arbeit von Laqueur „Ueber pseudentoptische Gesichtswahrnehmungen" in Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Band 36, Abth. I, pag. 62. — Da ich diese Arbeit erst gelesen, nachdem ich die meinige beendet, so habe ich einige wenige Einzelheiten, die bereits dort vorkommen, in meinem Aufsatz, zumal derselbe sonst wesentlich andere Ziele verfolgt, stehen lassen.

Auge, zwischen Auge und Lichtpunkt, einen kleinen möglichst dunklen Gegenstand, am besten eine schwarze Stecknadel, so erblickt man, wenn sich derselbe gerade vor der Pupille des Auges befindet, was man durch Hin- und Herschieben leicht erreichen kann, in dem Zerstreuungskreise ein umgekehrtes dunkles Bild der Nadel. Ebenso erblickt ein Kurzsichtiger in dem Zerstreuungskreise einer jenseit seines Fernpunktes gelegenen kleinen Lichtquelle, z. B. eines Sternes, ein aufrechtes Bild der Nadel. Dieses dunkle Bild ist, wie man sich leicht durch objective Darstellung der Erscheinung mittels der Camera obscura überzeugt, ein Schattenbild der Nadel: Die dicht vor das Auge gehaltene Nadel verhindert nämlich einen ihrer Gestalt entsprechenden Theil des von dem Lichtpunkte ausgehenden Strahlenkegels in's Auge zu treten; wenn sich nun die eingetretenen Strahlen auf der Netzhaut vereinigen (Fig. 1, I), hat dies nur eine Lichtschwächung des leuchtenden Punktes zur Folge; vereinigen sie sich dagegen hinter (Fig. 1, II) oder vor (Fig. 1, III) der Netzhaut, so entsteht in dem Zerstreuungskreise auf der Netzhaut ein Schattenbild der Nadel, welches, wie die Figur zeigt, im ersten Falle aufrecht, im zweiten umgekehrt ist. Da wir aber alle Netzhautbilder äusserer Objecte bei der Projection in den äusseren Raum umzukehren gewohnt sind, so kehren wir auch das auf der Netzhaut entstehende Schattenbild der Nadel um, und deshalb erscheint uns dasselbe in dem Zerstreuungskreise eines zu nahen Lichtpunktes umgekehrt, in dem eines zu fernen aufrecht. — Verändert man die Entfernung zwischen Nadel und Lichtpunkt, so ändert das beobachtete Bild der Nadel, entsprechend der Grösse des Schattenbildes auf der Netzhaut, seine Grösse, und zwar wird das Bild der Nadel, wie man sich durch den Versuch überzeugt und auch leicht einsieht, um so grösser, je kleiner ihre Entfernung von dem Lichtpunkt ist.

Es ist ziemlich schwer zu entscheiden, wo man das Bild der Nadel erblickt; am natürlichsten könnte es scheinen, dass man dasselbe in die Entfernung des deutlichen Sehens verlegt, was auch von Vielen behauptet wird. Ich habe aber bei meinen zahlreichen gewissenhaften Beobachtungen stets gefunden, dass das Bild der Nadel, welches übrigens durchaus nicht körperlich, sondern flächenhaft aussieht, in der Ebene des Zerstreuungskreises oder wenigstens dicht dahinter, jedenfalls aber diesseit des Nahepunktes zu liegen scheint. [Ebenso erblicke ich eine durch eine kleine Oeffnung be-

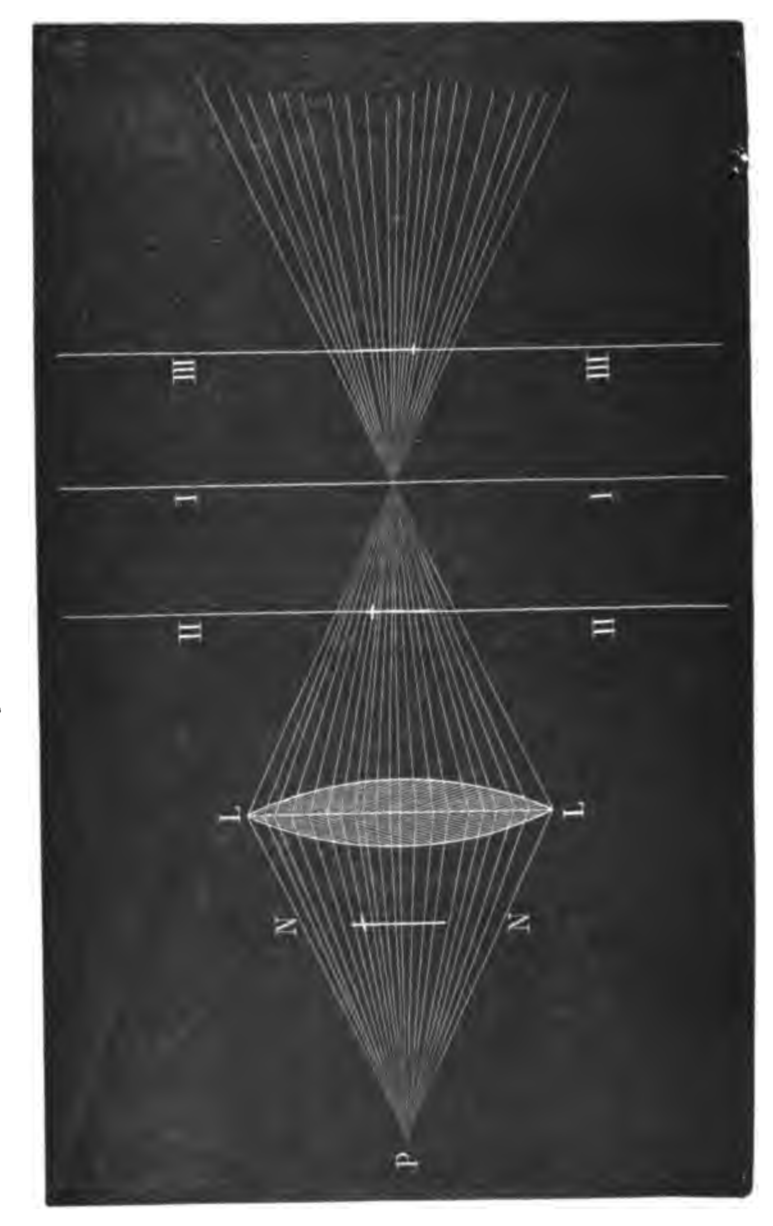


Fig. 1 (schematisch).

P Lichtpunkt.
N Nadel.
L Linse.
I, II, III Netzhaut resp. Schirm.

trachtete vergrösserte Nadel diesseit der sonstigen Accomodationsgrenze — oder vielmehr, ich fühle, dass ich mit Hilfe der kleinen Oeffnung die Nadel in grösserer Nähe als sonst deutlich sehen kann.] Mit grosser Bestimmtheit sehe ich beim Le Cat'schen Versuch das Nadelbild in der Ebene des Zerstreuungskreises, wenn ich als Lichtpunkt nicht eine Oeffnung in einem Kartenblatte, sondern ein auf mattschwarzes Papier als Hintergrund geklebtes winziges Stückchen weissen Papieres benutze, wenn ich also gleichsam den Versuch nicht dioptrisch, sondern katoptrisch anstelle.

Nimmt man statt eines Lichtpunktes mehrere, so erblickt man in dem Zerstreuungskreise jedes einzelnen ein Bild der Nadel, also so viele Nadelbilder, als Lichtpunkte vorhanden sind. — Benutzt man zwei Oeffnungen von verschiedener Grösse, so erscheint das Bild der Nadel in dem Zerstreuungskreise der grösseren Oeffnung undeutlicher und schmaler als in der kleineren und mit einem helleren Saume umgeben. Diese Erscheinung erklärt sich sehr einfach, wenn man sich die grössere Oeffnung aus zwei kleineren, welche annähernd Lichtpunkte repräsentiren und deren Zerstreuungskreise sich zum grössten Theile überdecken, zusammengesetzt denkt: Der von einem jeden der beiden Lichtpunkte herrührende Nadelschatten wird von dem anderen theilweise belichtet; daher der hellere Saum, dem Halbschatten entsprechend. Nur derjenige Theil der Netzhaut, welchen die beiden sich theilweise überdeckenden Nadelschatten gemeinsam einnehmen, bleibt vollständig dunkel; dort ist gleichsam der Kernschatten der Nadel (siehe Fig. 2). Das

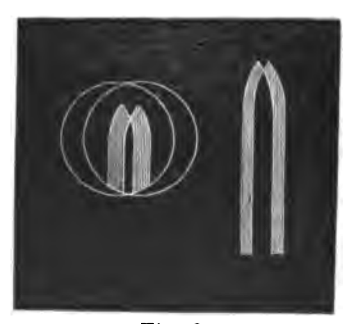


Fig. 2.

Bild der Nadel erscheint in dem Zerstreuungskreise der grösseren Oeffnung schmaler und undeutlicher, weil man nur den Kernschatten für das Nadelbild hält, den Halbschatten dagegen als Saum wahrnimmt. Benutzt man zwei feine, ganz nahe aneinander befindliche

Oeffnungen, so bietet sich in der That die analoge Erscheinung dar wie bei einer grösseren Oeffnung. — Nimmt man statt des Lichtpunktes eine Lichtlinie, z. B. einen feinen weissen Strich auf mattschwarzem Papier, so ist das Nadelbild vollständig undeutlich, wenn man die Nadel senkrecht zu dem weissen Strich vor das Auge hält, am deutlichsten, wenn die Nadel sich in paralleler Richtung mit dem Strich befindet. Auch diese Erscheinung lässt sich leicht dadurch erklären, dass man die Lichtlinie in eine Reihe von Lichtpunkten auflöst. In dem ersten Falle nämlich setzen sich die Nadelschatten der einzelnen Zerstreuungskreise zu einem einzigen Bilde zusammen, im zweiten Falle nicht.

Ich komme jetzt zu der Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut mittels des Le Cat'schen Versuches:

Nimmt man einen Lichtpunkt auf farbigem Hintergrunde, z. B. ein auf rothes Papier geklebtes kleines kreisförmiges Stückchen weissen Papieres, so erblickt man in dem Zerstreuungskreise dieses Lichtpunktes das Bild der Nadel stets in der Farbe des Hintergrundes, also in unserem Falle ein rothes Bild (nicht, wie man bei oberflächlicher Ueberlegung meinen könnte, in der Complementärfarbe). Die Erklärung dieser Erscheinung ist nach meinem Dafürhalten die folgende: Das diffus reflectirte Licht des farbigen Hintergrundes beleuchtet die Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung; der Theil der Netzhaut aber, welchen der Zerstreuungskreis des Lichtpunktes einnimmt, empfindet nach einem bekannten physiologischen Gesetz von der vollständigen oder theilweisen Unterdrückung kleinerer Intensitäten durch grössere nur das weisse Licht des Zerstreuungskreises. Hält man nun zwischen Auge und Lichtpunkt z. B. eine Nadel, so entsteht, wir wie früher gezeigt haben, in dem Zerstreuungskreise ein Schatten derselben: hier kommt daher das farbige, die ganze Netzhaut beleuchtende diffuse Licht des Hintergrundes wieder zur Geltung, — das Schattenbild der Nadel erscheint in der Farbe des Hintergrundes. Auch diese Erscheinung habe ich objectiv dargestellt und zwar auf folgende Weise: Ich umgab den Cylinder einer hellen, ihrer Glocke beraubten Petroleumlampe mit einem weiteren Cylinder aus durchscheinendem farbigen — am besten rothen — Papiere, welches an seinem unteren Ende, der Flamme gegenüber, mit einer kleinen kreisförmigen Oeffnung versehen war. Ein von dieser Lampe in mässiger Entfernung beleuchteter weisser Schirm erscheint in seiner ganzen Aus-

dehnung röthlich, bis auf eine der Oeffnung entsprechende kreisförmige Stelle, welche weiss erscheint. Hält man nun zwischen Lampe und Schirm einen dunklen Gegenstand, z. B. einen schwarzen Federhalter, so erblickt man in dem weissen Kreise auf dem Schirm einen schönen rothen Schatten des Halters, dessen Farbe noch intensiver zu sein scheint als die der übrigen Schirmtheile. Die Erklärung dieser Erscheinung auf dem Schirm ist dieselbe wie die oben für die Netzhaut gegebene. — Besonders gut kann man die farbigen Schattenbilder der Nadel beobachten, wenn man nicht einen Lichtpunkt, sondern die sich überdeckenden Zerstreuungskreise einer Lichtlinie auf farbigem Hintergrunde benutzt, wobei nach Früherem (cfr. p. 541) die Nadel in paralleler Richtung mit der Lichtlinie gehalten werden muss. — Hierbei kann man auf interessante Weise direkt auf der Netzhaut eine Farbenmischung vollziehen: Wählt man nämlich den Hintergrund nicht einfarbig, sondern zu beiden Seiten der Lichtlinie in verschiedenen Farben, indem man z. B. zwei Bogen verschiedenfarbigen Papieres auf weisses Papier dergestalt aufklebt, dass zwischen den geraden Rändern der farbigen Papiere ein ganz schmaler Streif des weissen Papieres sichtbar bleibt, so erblickt man das Schattenbild der Nadel in der Mischfarbe. Besonders gut gelingt der Versuch, wenn man blaues und rothes Papier wählt; der Nadelschatten erscheint dann deutlich in Purpurfarbe.

Dass bei den dargestellten Versuchen mit dem rein physiologischen Process auch ein psychologischer des Ersetzens — ähnlich wie er etwa bei dem Ersetzen des blinden Fleckes stattfindet — verbunden ist, geht wohl aus folgendem hervor: Das in dem Zerstreuungskreise des Lichtpunktes erscheinende Schattenbild der Nadel hat selbst dann noch das Aussehen des Hintergrundes, wenn man denselben bunt, gefleckt oder gerippt (sogen. Chagrinpapier) wählt. Dies geht so weit, dass, wenn man einen schwarzen Punkt auf weissem Hintergrunde wählt, man gleichsam in einem „schwarzen Zerstreuungskreise" ein weisses Bild der Nadel erblickt, allerdings erst nach längerer Uebung; viel besser lässt sich diese Erscheinung beobachten, wenn man nicht einen schwarzen Punkt, sondern eine schwarze Linie auf weissem Papier benutzt, und zwar erscheint das weisse Nadelbild viel intensiver weiss als der Hintergrund. Wendet man bei diesem Versuch eine kleine kreisrunde Oeffnung in einem weissen oder farbigen Blatt Papier an, welches von vorne beleuchtet ist, sodass die Oeffnung einen dunklen Punkt auf hellem

Hintergrunde repräsentirt, so erscheint das Bild der Nadel dem Hintergrunde an Farbe und Aussehen derart gleich, dass es den Eindruck macht, als sei es aus dem Blatt Papier ausgeschnitten und ragte in den „Zerstreuungskreis“ hinein.

Die zuletzt geschilderten Erscheinungen lassen sich durch ein Uebergreifen der Zerstreuungskreise der den schwarzen Punkt resp. die schwarze Linie begrenzenden weissen Randpunkte nicht gut erklären; besser durch die Hering'sche Farbentheorie, nach welcher die schwarze Farbe nicht einfach einen Mangel an Licht bedeutet, sondern wie die anderen Farben durch einen physiologisch-chemischen Process auf der Netzhaut entsteht. Vielleicht sind unsere Versuche geeignet, zu Gunsten dieser Theorie zu entscheiden. — Ich bemerke endlich, dass die Anstellung aller in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Versuche wesentlich dadurch erleichtert wird, dass man das Auge durch Vorhalten einer biconvexen Linse zu einem stark myopischen macht: der in mässiger Entfernung vom Auge befindliche Lichtpunkt erscheint dann jenseit des Fernpunktes liegend, das Schattenbild der Nadel also (siehe pag. 538) aufrecht.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Die Uebertragung der Vocale durch das Telephon und das Microphon.

Von

L. Hermann.

Der Zweck der nachfolgenden Untersuchung ist, die auf Grund photographischer Aufzeichnungen und anderer Versuche von mir aufgestellte Theorie der Vocale[1]) in einer gewissen Richtung durch

1) Vgl. dies Archiv Bd. 47, S. 347 ff. 1890.

die Erscheinungen am Telephon und Microphon auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

Ich habe früher gezeigt[1]), dass der Vocalcharacter nicht allein bei der gewöhnlichen telephonischen Uebertragung, sondern auch dann noch gut erhalten bleibt, wenn man zwischen das angesprochene und das Hörtelephon eine ganze Reihe von Inductionsvorgängen einschaltet. Es lässt sich nun darthun, dass diese Thatsache schlechterdings unvereinbar ist mit allen denjenigen Theorien, welche das Wesen der Vocale in bestimmten Intensitätsverhältnissen der harmonischen Partialtöne eines Klanges suchen, mögen nun die hervortretenden Partialtöne unveränderliche oder mit der Note des Vocals variirende sein; dass dagegen bei der von mir aufgestellten Theorie, nach welcher das Wesentliche des Vocals nichts Anderes ist als ein in der Periode seiner Note oscillirender oder intermittirender fester Ton, jene Thatsache leicht erklärt werden kann.

Theoretisches.

Bekanntlich war du Bois-Reymond der Erste, welcher die Theorie der Klangwahrnehmung am Telephon zu prüfen suchte[2]). Er meinte, dass jede Sinusschwingung der angesprochenen Eisenmembran sich in Folge der Induction, deren electromotorische Kraft bekanntlich dem ersten Differentialquotienten des oscillirenden Potentials proportional ist, in eine Cosinusschwingung des inducirten Stromes verwandelt, also um $^1/_4$ ihrer Periode zeitlich verschiebt. Da somit jeder Partialton des Klanges oder Vocals um eine andere Zeitgrösse (nämlich jeder um $^1/_4$ seiner Periode) verschoben wird, so müssten die Phasenverhältnisse des Klanges durch das Telephon gänzlich verändert werden; wenn trotzdem der Vocal unverändert erscheint, so bestätige dies die Helmholtz'sche Lehre, dass die Klangwahrnehmung von den Phasen der Partialtöne unabhängig ist.

Hierbei war indess, wie ich alsbald zeigte[3]), ein weit wesentlicherer Einfluss als derjenige auf die Phase, übersehen worden. Der Differentialquotient von $A \sin mt$ ist nämlich $mA \cos mt$, jeder

---

1) Dies Archiv Bd. 16, S. 314; Bd. 17, S. 319. 1878.

2) Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin 1877, 8. Dec.

3) Dies Archiv Bd. 16, S. 264. 1878 Jan.

Partialton des Klanges müsste also mit einer seiner Schwingungszahl proportionalen Amplitude übertragen werden. In du Bois' Sinne würde also das Telephon beweisen, dass die Klangfarbe nicht nur von den Phasen, sondern auch von den Intensitätsverhältnissen der Partialtöne unabhängig sei. du Bois-Reymond suchte darauf in einem Nachtrage [1]) zu zeigen, dass die hieraus resultirende Veränderung der Klangfarbe nicht nothwendig von entscheidender Bedeutung sein müsse, und hielt seine Schlussfolgerung bezüglich der Phase aufrecht. Jedoch zeigte ich durch Versuche [2]), dass auch bei multiplen Inductionen der Vocalcharacter unverändert bleibt, und dass eine Verschiebung der Phase um $^1/_4$ Periode factisch nicht stattfindet [3]). Ausserdem kündigte ich eine vollständigere Behandlung des Problems durch H. Fr. Weber an.

Diese Behandlung [4]) erschien gleichzeitig mit einer zu denselben Resultaten führenden Arbeit von Helmholtz [5]). Beide Forscher zeigten, dass das von du Bois-Reymond und nach seinem Vorgange auch von mir vernachlässigte Potential der Spiralen auf sich selbst in Rechnung gezogen werden muss, und dass mit Berücksichtigung desselben die Veränderungen der Phasen und der Intensitäten wesentlich anders ausfallen. Ich reproducire kurz das Wesentliche der Weber'schen Ableitung.

Ist R das electromagnetische Potential der Eisenmembran in Bezug auf die Spirale, und oscillirt dasselbe nach dem Gesetze

$$R = P \sin mt,$$

worin m die Anzahl der Schwingungen in 2π Secunden (die Schwingungszahl in 1 sec. ist also $n = m/2\pi$, oder m ist $= 2\pi n$), ist ferner i die Intensität im Telephonkreise, w dessen Widerstand, und Q das Potential der in ihm enthaltenen Spiralen in Bezug auf sich selbst (in Folgendem als „Eigenpotential" oder auch kurz als „Potential" bezeichnet), so ist

---

1) Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1877, S. 582. (Erschienen 1878 Febr.)

2) Dies Archiv Bd. 16, S. 314; Bd. 17, S. 319. Ann. d. Physik. N. F. Bd. 3, S. 83.

3) Ueber einige Versuche, welche eine Phasenverschiebung von $^1/_4$ Periode durch das Telephon beweisen sollen, vgl. den Anhang zu dieser Arbeit.

4) H. F. Weber, Vierteljahrsschrift d. naturf. Ges. in Zürich 1878. 1. Juli.

5) Helmholtz, Monatsber. der Preuss. Acad. d. Wiss. 1878. S. 488.

$$iw = \frac{\partial R}{\partial t} - Q\frac{\partial i}{\partial t}, \tag{1}$$

oder, da

$$\frac{\partial R}{\partial t} = mP\cos mt,$$

$$\frac{\partial i}{\partial t} + \frac{w}{Q}i - \frac{mP}{Q}\cos mt = 0. \tag{1a}$$

Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$i = Ce^{-\frac{w}{Q}t} + \frac{mP}{w^2 + m^2Q^2}(w\cos mt + mQ\sin mt), \tag{2}$$

worin e die Basis des natürlichen Logarithmensystems. Die Constante C braucht nicht bestimmt zu werden, da das erste Glied schnell verschwindet, um so schneller, je grösser w und je kleiner Q. Die Gleichung nimmt dann, wenn man zugleich den in Klammer stehenden Ausdruck in eine blosse sin-Function verwandelt, die Form an:

$$i = \frac{mP}{\sqrt{w^2 + m^2Q^2}}\cdot\sin\left(mt + \operatorname{arctg}\frac{w}{mQ}\right). \tag{3}$$

In diesem Ausdruck ist der Factor der sin-Function die Amplitude und arctg w/mQ die Phasenverschiebung der resultirenden Schwingung.

Es können nun folgende Fälle unterschieden werden:

1. w ist so klein, oder mQ so gross, dass w^2 gegen m^2Q^2 verschwindet; dann ist:

$$i = \frac{P}{Q}\sin\left(mt + \frac{w}{mQ}\right); \tag{4}$$

d. h. die Intensität ist von der Schwingungszahl unabhängig, und es tritt eine unendlich kleine Phasenverschiebung ein, welche practisch zu vernachlässigen ist, so dass fast genau

$$i = \frac{R}{Q},$$

d. h. jeder Partialton wird so reproducirt, als ob die wirksame Schwingung direct in einem Kreise mit einem dem Potential Q proportionalen Widerstand erfolgte. Es ist somit selbst in diesem Falle nicht daran zu denken, dass die Erhaltung des Klangcharacters etwas für die Bedeutungslosigkeit der Phase beweise, wie du Bois-Reymond wollte.

2. w ist umgekehrt so gross, dass m^2Q^2 gegen w^2 verschwindet; dann ist arctg w/mQ sehr nahe $= \pi/2$, also fast genau

$$i = \frac{mP}{w} \cos mt = \frac{1}{w} \cdot \frac{\partial R}{\partial t}; \tag{5}$$

d. h. jeder Partialton wird so reproducirt als ob der Differentialquotient des oscillirenden Potentials direct als electromotorische Kraft in einem Kreise mit dem Widerstand w wirkte; es wird jeder Partialton um so stärker reproducirt, je höher er ist, und gelangt zum zweiten Telephon um $^1/_4$ seiner Periode in der Phase verschoben. (Dieser Fall entspricht also dem von du Bois-Reymond und mir ohne Berücksichtigung von Q behandelten, wobei ersterer den Factor m übersehen hatte.)

3. Als eine Art mittleren Falles, welcher aber stets nur bei einem bestimmten Werthe von m verwirklicht sein kann, könnte man annehmen $w = mQ$; dann ist arctg $w/mQ = \pi/4$, und es wird

$$i = \frac{mP}{w\sqrt{2}} \sin\left(mt + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{mP}{2w}(\sin mt + \cos mt). \tag{6}$$

Wirkt das erste Telephon nicht direct, sondern durch Vermittelung einer Inductionsvorrichtung, auf das zweite, und sind i w, Q Intensität, Widerstand und Eigenpotential des ersten Kreises, i_1, w_1, Q_1 die entsprechenden Grössen des zweiten, endlich S das Potential der primären Inductionsrolle auf die secundäre, so entstehen die beiden simultanen Differentialgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} iw &= mP \cos mt - Q\frac{\partial i}{\partial t} - S\frac{\partial i_1}{\partial t}, \\ i_1 w_1 &= -Q_1 \frac{\partial i_1}{\partial t} - S\frac{\partial i}{\partial t}, \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

deren Integral für den zweiten Kreis lautet, mit Weglassung des die Constanten enthaltenden, mit der Zeit verschwindenden Gliedes:

$$i_1 = -\frac{m^2 PS}{\sqrt{m^2[Qw_1 + Q_1 w]^2 + [m^2(QQ_1 - S^2) - ww_1]^2}} \cdot \sin\left(mt + \operatorname{arctg}\frac{m(Qw_1 + Q_1 w)}{m^2(QQ_1 - S^2) - ww_1}\right). \tag{8}$$

Auch hier sind zwei Grenzfälle zu unterscheiden. Verschwinden die zweiten Dimensionen der Widerstände gegen diejenigen der mit m multiplicirten Potentiale, so wird

$$i_1 = -\frac{PR}{QQ_1 - S^2} \cdot \sin\left(mt + \operatorname{arctg}\frac{Qw_1 + Q_1 w}{m(QQ_1 - S^2)}\right), \tag{9}$$

d. h. die Amplitude ist unabhängig von der Schwingungszahl und die Phasenverschiebung ist so klein, dass sie vernachlässigt werden kann. Sind umgekehrt die Widerstände so gross, dass gegen

ihre zweiten Dimensionen diejenigen der m-fachen Potentiale verschwinden, so wird

$$i_1 = -\frac{m^2 PS}{ww_1} \cdot \sin\left(mt - \operatorname{arctg}\left(\frac{mQ}{w} + \frac{mQ_1}{w_1}\right)\right) \tag{10}$$

oder, da die Phasenverschiebung nahezu $= 0$ ist, sehr nahe:

$$i_1 = -\frac{m^2 PS}{ww_1} \sin mt = \frac{S}{ww_1} \cdot \frac{\partial^2 R}{\partial t^2}; \tag{11}$$

d. h. bei genügend grossen Widerständen beider Kreise ist die Uebertragung dem Quadrate der Schwingungszahl entsprechend und erfolgt mit einer Phasenverschiebung um π, d. h. ohne merkliche Phasenverschiebung, weil eben die sin-Function durch zweimalige Differentiation wieder zu einer Sinusfunction (mit umgekehrtem Vorzeichen) führt.

Man hat es also bei der telephonischen Uebertragung durch Wahl der Widerstände und der Potentiale, ferner durch eingeschobene Inductionen, ganz in der Hand, entweder alle Partialtöne gleichmässig zu übertragen ohne Phasenveränderung, oder die Partialtöne sehr verschieden je nach ihrer Höhe zu übertragen, proportional der ersten, zweiten etc. Potenz der Schwingungszahl, und zwar beliebig mit grösster oder mit verschwindend kleiner Phasenveränderung.

Eine sehr interessante Ergänzung dieser durch die Theorie gelieferten Mittel bildet die Verwendung des Microphons.

Auch ohne mathematische Herleitung kann man leicht voraussehen, welche Verhältnisse hier eintreten müssen, wenn man folgende Betrachtung anstellt. Die Eigenpotentiale eingeschalteter Spiralen wirken gegenüber oscillirenden Strömen ganz wie ein Reibungs- oder Dämpfungs-Widerstand. In der That hat die Grösse Q in den Gleichungen (1) und (7) ganz die Stellung einer Reibungs- oder Dämpfungsconstante. Die Wirkung aller Reibungen gegenüber einer periodischen Bewegung, welche durch einen periodischen Vorgang unterhalten wird, besteht aber 1) in einer Verminderung der Amplitude, welche um so grösser ist, je grösser die Geschwindigkeiten, also die Schwingungszahlen, 2) in einer Verzögerung, welche, ohne die Dauer der Periode zu beeinflussen [1]), die Phase betrifft.

1) Nur für die (von der periodischen Einwirkung unabhängige) Eigen-

Beim Telephon ist der primäre Vorgang, entsprechend der Induction, eine periodische electromotorische Kraft, deren Amplitude der Schwingungszahl der Töne proportional ist, und deren Phase um $\pi/2$ gegen die des einwirkenden Tones verschoben ist. Die im Kreise des Telephons befindlichen Spiralen vermindern nun die Amplituden um so stärker je höher die Töne, und, wenn die Potentiale genügend stark sind, bis umgekehrt proportional der Schwingungszahl, so dass in diesem Grenzfalle die Wirkung der ersten Induction grade compensirt, also alle Töne gleich stark übertragen werden. Ebenso kann die Phasenverschiebung bis Null compensirt werden. Bei schwachen Potentialen bleibt dagegen der Vorgang so wie er durch die erste Induction geworden ist (Amplituden mit der Tonhöhe wachsend, Phase um $\pi/2$ verschoben).

Sind zwei durch Inductionsrollen correspondirende Kreise vorhanden, so entsteht bei schwachen Potentialen durch die zweite Induction eine Uebertragung nach dem Quadrate der Schwingungszahlen und mit Phasenverschiebung um $2 \, . \, \pi/2$. Enthalten dagegen beide Kreise grosse Potentiale, so compensiren die des ersten die Wirkungen der ersten Induction, und die des zweiten Kreises die der zweiten, so dass der Vorgang unverändert übertragen wird.

Beim Microphon ist nun der primäre Vorgang eine oscillatorische Veränderung des Widerstandes, also frei von Induction. Befindet sich das Telephon mit der Kette zusammen direct im Kreise des Microphons, so werden, wenn genügend starke Potentiale vorhanden sind, nach dem oben Gesagten die Amplituden umgekehrt proportional den Schwingungszahlen übertragen. Ist, wie gewöhnlich, der Microphonkreis mit dem Telephonkreis nur durch eine Inductionsvorrichtung in Correspondenz, so muss diese im letztangeführten Falle die Verunstaltung der Amplitudenverhältnisse wieder compensiren; während ihre eigene Wirkung compensirt, also die Verunstaltung erhalten bleibt, wenn auch der zweite Kreis genügend starke Potentiale enthält.

Es wird genügen, diese Ergebnisse in Bezug auf das Microphon nur für den einfachsten Fall, nämlich für einen einfachen Microphonkreis, mathematisch zu bestätigen. Es sei W der permanente und w der oscillirende Theil des Widerstandes im Kreise,

---

schwingung wird auch die Dauer der Periode durch Dämpfungen beeinflusst (ebenso beim schwingenden Magneten, dem Pendel u. dgl.).

so dass der Gesammtwiderstand zur Zeit t ist: $W + w \sin mt$, worin wieder m für $2\pi n$ gesetzt ist. Da der Widerstand nie negativ oder Null werden kann, so muss $W > w$ sein. Nennen wir wieder Q das Eigenpotential der im Kreise befindlichen Spiralen, und ist E die electromotorische Kraft des im Kreise befindlichen Elements, so erhalten wir die Gleichung

$$i\,(W + w \sin mt) = E - Q\,\frac{\partial i}{\partial t}, \tag{12}$$

oder

$$\frac{\partial i}{\partial t} + \frac{1}{Q}(W + w \sin mt)\, i - \frac{E}{Q} = 0. \tag{13}$$

Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$i = e^{-\frac{W}{Q}t + \frac{w}{mQ}\cos mt}\left(C + \frac{E}{Q}\int e^{\frac{W}{Q}t - \frac{w}{mQ}\cos mt}\, dt\right), \tag{14}$$

worin wiederum e die Basis der natürlichen Logarithmen und C die Integrationsconstante.

Das in der Klammer befindliche Integral lässt sich nicht in geschlossener Form darstellen. Dagegen ist die Ausführung der Integration leicht unter der uns zunächst interessirenden Voraussetzung, dass wiederum mQ so gross gegen w ist, dass die zweite und folgenden Potenzen des Bruches w/mQ gegen 1 vernachlässigt werden dürfen. Unter dieser Veraussetzung wird

$$e^{-\frac{W}{Q}t + \frac{w}{mQ}\cos mt} = e^{-\frac{W}{Q}t}\left(1 + \frac{w}{mQ}\cos mt\right)$$

und

$$e^{\frac{W}{Q}t - \frac{w}{mQ}\cos mt} = e^{\frac{W}{Q}t}\left(1 - \frac{w}{mQ}\cos mt\right)$$

und das Integral unter der Klammer nimmt den Werth an

$$e^{\frac{W}{Q}t}\left(\frac{Q}{W} - \frac{w}{mQ}\cdot\frac{\frac{W}{Q}\cos mt + m \sin mt}{\left(\frac{W}{Q}\right)^2 + m^2}\right),$$

so dass wir erhalten, wenn das mit der Constante C behaftete, mit der Zeit verschwindende Glied weggelassen wird,

$$i = \frac{E}{Q}\left(\frac{Q}{W} - \frac{w}{m}\,\frac{W \cos mt + mQ \sin mt}{W^2 + m^2 Q^2}\right)\left(1 + \frac{w}{mQ}\cos mt\right).$$

Bei der Ausführung der Multiplication verschwindet wieder das mit dem Factor w^2/m^2Q^2 behaftete Glied, und es wird nach gehöriger Zusammenziehung

$$i = \frac{E}{W} + \frac{Ew}{W\sqrt{W^2 + m^2 Q^2}} \cos\left(mt + \operatorname{arctg}\frac{W}{mQ}\right). \qquad (15)$$

Zu dem constanten Stromantheil $i_1 = E/W$ addirt sich also ein oscillirender Stromantheil

$$i_2 = \frac{E}{W} \cdot \frac{w}{\sqrt{W^2 + m^2 Q^2}} \cos\left(mt + \operatorname{arctg}\frac{W}{mQ}\right). \qquad (16)$$

Ist auch W so klein, dass W^2 gegen $m^2 Q^2$ verschwindet, so wird, wenn man zugleich von der in diesem Falle sehr kleinen Phasenverschiebung absieht,

$$i_2 = \frac{E}{W} \cdot \frac{w}{mQ} \cos mt, \qquad (17)$$

d. h. die Sinusschwingung des Microphons überträgt sich um so schwächer je höher der Ton, und, wenn das Eigenpotential gegen alle Widerstände sehr gross ist, so werden die Amplituden umgekehrt proportional den Schwingungszahlen, und aus der Sinusfunction wird eine Cosinusfunction, d. h. es tritt eine Phasenverschiebung von $\frac{1}{4}$ Periode ein.

Ist umgekehrt das Potential sehr klein im Vergleich zu den Widerständen, so wird schliesslich die Stromstärke i einfach dem Widerstande entsprechend oscilliren. Dies ist schon ohne weitläufige Integration aus Gleichung (7) zu ersehen, welche, wenn Q ganz verschwindet, übergeht in $i = E/(W + w \sin mt)$. [Für sehr kleine Q (erster Ordnung) würde noch das Glied $EQmw \cos mt/(W + w \sin mt)^3$ hinzuzufügen sein, um der Gleichung (12) zu genügen.]

Man hat es also, durch Wahl der Verhältnisse zwischen Widerständen und Potentialen, ganz in der Hand, die Klänge mit oder ohne Aenderung des Amplitudenverhältnisses der Partialtöne, und mit oder ohne (merkliche) Aenderung der Phasen zu übertragen, und zwar folgendermassen:

1) Uebertragung ohne Aenderung der Amplitudenverhältnisse und mit unendlich kleiner der Phasen: einfacher Telephonkreis, mQ sehr gross gegen w. Oder: inductive Uebertragung zwischen zwei oder mehr Kreisen, unter derselben Bedingung für jeden Kreis (Weber, Helmholtz).

2) Uebertragung mit Veränderung der Amplitudenverhältnisse und der Phasen, und zwar

a) Amplituden übertragen proportional den Schwingungszahlen, Phasen um $^1/_4$ Periode verschoben: einfacher Telephonkreis, w sehr gross gegen mQ.

b) Amplituden übertragen umgekehrt proportional den Schwingungszahlen, Phasen um $^1/_4$ Periode verschoben: einfacher Microphonkreis mit Telephon, mQ sehr gross gegen w. Oder: Telephon (wie gewöhnlich) im secundären Kreise des Microphons, unter derselben Bedingung für beide Kreise.

c) Amplituden übertragen proportional dem Quadrate der Schwingungszahlen, Phasen um $^1/_2$ Periode, d. h. nicht merkbar verschoben: doppelter Telephonkreis, w sehr gross gegen mQ.

Versuche.

Sowohl Weber wie Helmholtz nahmen in ihren oben angeführten Arbeiten an, dass bei dem gewöhnlichen Telephoniren, und entsprechend auch in meinen früheren Versuchen, w sehr klein gegen mQ ist resp. war, wenigstens für die höheren Töne der menschlichen Stimme, so dass der soeben sub 1) angeführte Specialfall verwirklicht sei, ohne indess directe Zahlen anzugeben. Für die unten folgenden Versuche war es mir von grosser Wichtigkeit, die Potentiale der verwendeten Telephone in Bezug auf sich selbst wenigstens annähernd kennen zu lernen.

1. Potentialbestimmungen.

Eine Berechnung der Potentiale erwies sich aus mehreren Gründen unthunlich, so leicht dieselbe anscheinend ausführbar ist[1]). Vor Allem ist das Potential vom Quadrate der Windungszahl abhängig; letztere aber ist auf vielen Telephonen gar nicht vermerkt, und wo sie vermerkt ist, fehlt jede Controlle der Richtigkeit. Mehr noch verliert die Berechnung ihren Werth durch den eisernen oder stählernen Kern der Spirale, dessen sehr erheblicher Einfluss nicht berechnet werden kann.

Eine experimentelle Ermittelung war daher unerlässlich. Ich benutzte dazu das Brückenverfahren, welches im Wesentlichen darin besteht,

---

1) Ueber die Formel sowie Tabellen, welche die Rechnung abkürzen, vgl. Stefan, Sitzungsber. d. Wiener Acad. Bd. 88. 2. Abth. S. 1201 ff. 1883.

die zu untersuchende Spirale in eine Wheatstone'sche Combination einzuschalten, und die Widerstände so abzugleichen, dass das in der Brücke befindliche Galvanometer auf Null steht. Die Spirale ist dann von einem leicht zu berechnenden Zweige des Hauptstroms durchflossen. Wird nun letzterer geöffnet, so bewirkt der Extracurrent der Spirale mit seinem ebenfalls leicht zu berechnenden auf die Brücke wirkenden Antheil einen Ausschlag am Brückengalvanometer. Aus diesem Ausschlag kann das Potential berechnet werden, wenn der Hauptstrom mittels einer in den Kettenkreis eingeschalteten Tangentenboussole gemessen ist, ferner das Verhältniss der Empfindlichkeiten beider Instrumente, Dämpfung und Schwingungsdauer des Brückengalvanometers und alle in Betracht kommenden Widerstände bekannt sind [1]).

So ergaben sich die folgenden Potentialwerthe, welche ich sowohl in Ohm. sec. wie in Metern angebe (1 Ohm = 10^9 cm/sec. = 10^7 m/sec.):

Gegenstand.	Potential in Bezug auf sich selbst.	
	In Ohm. sec.	In Metern.
1) Secundäre Spirale *L* eines grösseren Schlitteninductoriums (gegen 10000 Windungen, w = 631 Ohm)	1,8414	18.414.000
2) Dieselbe Spirale *L* mit eingeschobenem Eisendrahtbündel von ca. 280 gr	8,4179	84.179.000
3) Siemens-Halske'sches Telephon *A* (w = 201,6 Ohm)	0,1624	1.624.500
4) S.-H. Telephon *B* (w = 204,1 Ohm)	0,2859	2.859.300
5) S.-H. Telephon *C* (w = 995,1 Ohm)[2]) . . .	0,7060	7.059.600
6) S.-H. Telephon *D* (w = 1020 Ohm)[2]) . . .	0,5382	5.381.800
7) Altes Telephon *E* von einfachster Construction (w = 70,6 Ohm)	0,0700	700.180
8) Kleiner Inductor eines Blake-Microphon mit Drahtkern:		
a) primäre Spirale (w = 0,58 Ohm)	0,0015	14.635
b) secundäre Spirale (w = 269 Ohm) . . .	0,6075	6.074.900
c) Potential beider Spiralen auf einander[3]) . .	0,0316	316.420

1) Vgl. Kohlrausch, Leitfaden der pract. Physik. 6. Aufl. S. 283. In der daselbst angeführten Formel für *S* ist ein Fehler, den der Verfasser selbst nach Privatmittheilung bereits bemerkt hat. Im Nenner von *S* muss es statt $(c + d)\ (a + c)$ heissen $(c + d)\ (b + d)$. Der Ausdruck lässt sich noch weiter vereinfachen; die bequemste Form ist (da $ad = bc$):

$$S = [\gamma(b + d) + b(c + d)]\frac{c + d}{d^2}.$$

2) Die Telephone *C* und *D* sind sogenannte „Präcisionstelephone" von Siemens & Halske.

3) Dieses Potential *S* habe ich folgendermaassen bestimmt: Es wurde nach dem oben angeführten Verfahren das Potential der secundären Spirale gemessen; jedoch befand sich die primäre Spirale im Hauptkreise. Das so erhaltene Resultat ist offenbar die Summe $Q + S$, worin Q das Eigenpoten-

Jede dieser Bestimmungen wurde mehrfach mit stark variirten Widerständen vorgenommen; die Resultate stimmten ziemlich befriedigend überein; der Sicherheit halber wurden aus unten anzugebendem Grunde die höchsten der gefundenen Werthe ausgewählt.

2. Versuche mit Uebertragung musicalischer Klänge.

Um zunächst den Einfluss des Thelephons und Microphons auf musicalische Klänge kennen zu lernen, benutzte ich hauptsächlich eine Drehorgel neuerer Construction, das sog. Ariston, ein Zungeninstrument mit aufsetzbaren durchbrochenen Pappscheiben für die einzelnen Musikstücke. Dieser Apparat eignet sich sehr wegen seines lauten Klanges, seines bedeutenden Notenumfanges (von *B* bis d^3), und weil jede Person zur Bedienung genügt. Ausserdem wurde auch Klavierspiel benutzt. Beim Ariston wurde das Telephon entweder mit der Schallfassung auf den Kasten des Instrumentes aufgesetzt, oder auch neben dem Kasten auf den Tisch gestellt, was fast ebenso stark wirkt. Das Microphon[1]) wurde an der Mauer so befestigt, dass eine Seitenwand des Instruments seiner Schallöffnung dicht gegenüberstand. Für Klaviermusik wurde das Telephon auf die horizontale obere Leiste des Hammerrahmens bei geöffnetem Pianino aufgesetzt, ebenso das Microphon.

Ich führe zunächst die Erfahrungen mit dem Ariston an.

1) Einfacher Telephonkreis. Die Klangfarbe erscheint wesentlich verändert, die hohen Töne stark bevorzugt, der Bass auffallend schwach hörbar. Die Musik klingt eigenthümlich quäkend und unmelodisch. Noch mehr ist dies der Fall, wenn grosse Widerstände, 10000 bis 20000 Ohm in den Kreis aufgenommen

---

tial der secundären Spirale ist. Darauf wurde die primäre Spirale im Hauptkreise umgekehrt eingeschaltet, und die Bestimmung wiederholt; man findet so $Q-S$; S ist also die halbe Differenz der beiden gefundenen Potentialwerthe.

1) Das verwendete Blake-Microphon ist von der Züricher Telephongesellschaft. Ueber Widerstand und Potentiale seiner Spiralen vgl. die vorstehende Tabelle. Die beiden Spiralen sind in einander gewickelt (vgl. J. Roth, dies Archiv Bd. 42, S. 95). Für die in den Versuchen erforderliche besondere Verwendung der einzelnen Theile des Apparates ist es sehr empfehlenswerth, jeden der drei Theile für sich in zwei aussen angebrachten Drahtklemmen endigen zu lassen, also 2 für das Microphon selbst, 2 für die primäre, 2 für die secundäre Spirale.

werden. Der Bass verschwindet jetzt vollständig, während der Sopran nur wenig geschwächt wird; Alles klingt stark quäkend. Wird dagegen die Spirale *L* (s. die Tabelle sub 1) in den Kreis aufgenommen, so klingt die Musik, wenn auch geschwächt, angenehmer, der Bass ist gut hörbar. Einschieben des Eisenkerns (s. d. Tabelle sub 2) schwächt noch viel stärker, lässt aber den Bass neben dem Sopran hören.

Die Versuche sind stets (auch die folgenden) so eingerichtet, dass mittels einer Wippe ohne Kreuz alternirend grosse (inductionsfreie) Rheostatwiderstände und die Spirale *L* in den Kreis eingeschaltet werden kann, während ein du Bois'scher Schlüssel als Nebenschliessung die Wippe sammt ihren Anhängen ausschaltet. Durch Umlegen der Wippe während des Spielens kann man besonders gut und unmittelbar den Einfluss grosser Widerstände und grosser Potentiale auf die Musik vergleichen. Hinsichtlich der blossen Intensität des Schalles ergab sich ein Widerstand von etwa 10000 Ohm äquivalent dem Potential der Spirale *L*, so dass man jetzt beim Umlegen der Wippe die Musik in gleicher Stärke, aber ganz verschiedenem Character hinsichtlich der Bassbegleitung und der Klangfarbe hört. Wird der Eisenkern in die Spirale eingeschoben, so ist die Schwächung der Intensität so gross, dass 20000 Ohm zur Aequivalenz noch nicht ausreichen.

2) Einfacher Microphonkreis. (Der Microphoncontact mit 1 Dan. und dem Telephon *A* oder *B*.) Derselbe verändert die Musik weit stärker und ungünstiger als der einfache Telephonkreis. Ungemein auffallend ist vor Allem das starke Ueberwiegen des Basses über den Sopran; ersterer erscheint zugleich sehr rauh. Die Musik hört sich etwa an, wie eine etwas entfernte schlechte und kratzende Musik von Streichinstrumenten. Der Sopran verschwindet gänzlich, wenn das Potential der Spirale *L* in den Kreis eingeschaltet wird, zugleich mit erheblicher Schwächung der Musik. Grosse Widerstände schwächen den Schall bis zur Unhörbarkeit, nur die tiefsten Noten werden noch als leises Kratzen vernommen, ohne deutliche Tonempfindung. Der einfache Microphonkreis verträgt überhaupt keine grossen Widerstände, und deswegen sind hier die ältesten Telephone mit wenig Windungen (z. B. Telephon *E* der Tabelle) günstiger als die ihnen sonst stark überlegenen windungsreichen Siemens'schen. Das Aequivalenzverhältniss zwischen Potentialen und Widerständen in Bezug auf

die Schallstärke (vgl. oben S. 555) gestaltet sich daher hier ganz anders als beim Telephonkreise.

Ungemein drastisch wirkt es, wenn man mittels einer kreuzlosen Wippe, welche sich im Geberzimmer befindet und welche fortwährend umgelegt wird, abwechselnd Telephon und Microphon auf das Hörtelephon wirken lässt. Es wird dann abwechselnd fast nur der Sopran und fast nur der Bass gehört. Noch überraschender für jeden Hörer ist es, wenn man mittels der Wippe im Hörerzimmer jedesmal Widerstand einschaltet wenn das Telephon, und Potential wenn das Microphon wirkt. Es wird dann abwechselnd der Bass und der Sopran völlig ausgelöscht, zugleich mit den angegebenen Veränderungen der Klangfarbe. Für Musiker müssten solche Versuche von ganz besonderem Interesse sein.

3) Telephon mit secundärem Telephonkreis. (Als Uebertrager wurde hier das kleine Inductorium des Microphons, vgl. die Tabelle sub 8, benutzt.) Der Bass erscheint relativ schwach. Hinzufügen von Potentialen zum primären und secundären Kreise hat ausser Schwächung keinen merklichen Einfluss. Werden dagegen in den primären Kreis 10000 Ohm aufgenommen, so wird der Bass vollständig ausgelöscht. Geschieht dasselbe auch im secundären Kreise, so hört man nur noch die höchsten Noten, und zwar ohne ihre Höhe zu erkennen; man erkennt an den leisen hohen Tönen nur noch den Tact des Musikstücks.

4) Microphon mit Telephon im secundären Kreise (d. h. die gewöhnliche Anordnung beim microphonischen System der Correspondenz). Die Uebertragung ist sehr kräftig. Der Bass erscheint relativ stark, der Sopran als knarrende oder näselnde Begleitung. Die Musik erinnert sehr an diejenige des Dudelsacks. Auch hier werden Widerstände im primären Kreise kaum vertragen. Grosse Widerstände im secundären Kreise (10000 Ohm) bewirken mässige Schwächung; der Bass wird aber jetzt vollkommen ausgelöscht, der Sopran ist noch mehr näselnd als ohne Widerstand. Grosse Potentiale im secundären Kreise (Rolle L mit Eisenkern) schwächen mehr als Widerstände, machen aber die Klangfarbe normaler und angenehmer, und gleichen Bass und Sopran ziemlich aus.

Ganz ähnlich wie mit dem Ariston, sind die Ergebnisse beim Klavierspiel, welches den Vortheil hat, auch einfache Tonleitern beobachten zu können. Auch hier löscht das Telephon mit grossem

inductionsfreiem Widerstand im Kreise die Bassnoten fast vollständig aus, während mit der grossen Inductionsspirale mit Eisenkern der Bass gut hörbar ist, obwohl die Gesammtintensität geringer ist als mit dem Widerstand. Der Bass klingt rauh, zuweilen erinnernd an das Anschlagen eines gesprungenen Topfes. Die höchsten Noten klingen stark, lassen aber keine Höhenempfindung zu, namentlich bei grossem Widerstande, wo sie sich anhören wie das Fallen von Tropfen auf ein Blechdach. Noch stärker sind diese Veränderungen bei sehr geschwächter Gesammtintensität, im secundären Telephonkreise. Das Microphon dagegen lässt im einfachen Kreise die höheren Octaven kaum hören, den Bass dagegen laut und sehr rauh. Mit der Inductionsspirale L werden die höheren Octaven ganz unhörbar, der Bass bleibt stets erkennbar. Grosse Widerstände schwächen den Schall im einfachen Microphonkreise wie schon bemerkt sehr beträchtlich; man hört nur noch leise Andeutungen der Bassnoten. Auch hier ist der Contrast sehr überraschend, wenn man, mittels einer Wippe am Klavier, abwechselnd das Telephon und das Microphon auf das Hörtelephon wirken lässt. Im secundären Microphonkreise ist der Klang sehr kräftig, der sehr rauhe Bass wiederum stark prävalirend, aber auch der Sopran erkennbar. Auch mit secundärem Kreise ist der Wippenversuch sehr schön, indem man das Inductorium des Microphonkastens beständig mit dem Hörtelephon verbunden lässt, die primäre Spirale aber alternirend mit dem Telephon, und mit dem Microphon und Element verbindet.

3. Versuche mit Sprachübertragung.

Die Versuche mit Sprachübertragung wurden, wie in meiner älteren Arbeit, stets so angestellt, dass Sprecher und Hörer Protokolle führten, welche nachher verglichen wurden. Die Verständlichkeit einfachen Zählens oder Vorlesens will wenig besagen, weil der Hörer stets im Voraus etwas orientirt ist. Besser ist es, beliebige mehrziffrige Zahlen aussprechen oder complicirtere Einzelworte, z. B. aus einem chemischen Waarencatalog (auch in diesem Falle nicht in ihrer Reihenfolge, weil dies die Orientirung fördert!) vorlesen zu lassen. Für die Frage der Vocale ist aber dies Alles unzureichend, weil die meisten Consonanten sehr leicht verstanden werden, und jedenfalls zum halben Errathen der Worte und ihrer

gleichmässig übertragen, und die Phasenverschiebung ist unmerklich, wie es Weber und Helmholtz für den ganzen Stimmbereich meiner älteren Versuche angenommen haben. Wie weit dies damals wirklich der Fall war, lässt sich nicht feststellen, da die Potentiale der damals verwendeten Telephone unbekannt sind; indessen waren sie, da ihr Widerstand etwa 55 Ohm betrug[1]), dem Telephon E der Tabelle S. 553 ähnlich. Denken wir uns einen Kreis von zwei solchen Telephonen, so wäre etwa $w = 140$, $Q = 0{,}14$ (0,138 nehme ich dafür, weil $4\pi^2 Q^2$ dann gerade $^3/_4$ ist) zu setzen. Der Werth von P ist gleichgültig, doch wollen wir, um zugleich von dem Gesammtwirkungsverhältniss eine Vorstellung zu gewinnen, ihn so nehmen als ob das electromagnetische Potential zweier Telephone ihrem Eigenpotential proportional wäre, was ungefähr der Fall sein könnte; dann wäre $P = 390^2/_3$ zu setzen. So ergäbe sich für zwei Telephone der Sorte E:

$n =$	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
$A =$	1170	2116	2196	2212	2218	2220	2222
$\varphi =$	58° 16′	17° 55′	9° 11′	6° 9′	4° 37′	3° 42′	3° 5′

(Der Grenzwerth von A ist natürlich auch hier 2222, weil wir ja P/Q gleich angenommen haben.) Nach diesen Tabellen dürfte es als wahrscheinlich zu betrachten sein, dass auch bei meinen älteren Versuchen die von Weber und Helmholtz für den ganzen Stimmbereich aufgestellte Vermuthung für die tieferen Stimmtöne nicht zutraf, und die damals beobachtete Erhaltung des Vocalcharacters anders zu erklären ist (s. unten). Immerhin ist leicht einzusehen, dass der gewöhnliche Telephonkreis über den Einfluss des Partialton-Verhältniss auf die Klangfarbe wenig aussagen kann. Dass vollends die Phasenverschiebung hier der von du Bois-Reymond angenommenen von 90° gegenüber unmerklich, und zu Schlüssen hinsichtlich der Bedeutung der Phase für die Klangfarbe absolut unzureichend ist, wird aus den Tabellen noch deutlicher einleuchten.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Wider-

1) S. dies Archiv Bd. 16, S. 314 Anm.

stand ohne Vermehrung des Potentials auf etwa 20000 gebracht wird. Hier nähern wir uns der Gleichung (5). Es wird nämlich, wenn wir wiederum $P = 1000$ setzen:

$n =$	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
$A =$	0,31413.100	0,313.500	0,311.1000	0,307.1500	0,302.2000	0,296.2500	0,289.3000
$\varphi =$	89° 11′	85° 57′	81° 57′	78° 2′	74° 13′	70° 54′	67° 1′

Bei strenger Verwirklichung der Gleichung (5) würde durchweg $A = 0{,}31416 \, . \, n$ und $\varphi = 90^{\circ}$ sein. Für $n = 100$ ist dies fast genau erreicht. Die Multiplication mit n ist in den Werthen für A nicht ausgeführt, damit man um so deutlicher erkenne, dass die Partialtöne sehr ungleich, nämlich mit einer ihrer Schwingungszahl annähernd proportionalen Amplitude übertragen werden.

Die Musik unterliegt nun in der That diesem Einfluss, wie wir oben gesehen haben, auf das deutlichste, der Bass wird unterdrückt gegenüber dem Sopran. Zugleich ändert sich die Klangfarbe sehr bedeutend. Es bestätigt sich also, dass letztere bei musicalischen Klängen vom Amplitudenverhältniss der Partialtöne abhängt. Die Phasenveränderung um nahezu 90°, und die mit ihr verbundene gänzliche Veränderung des Phasenverhältnisses der Partialtöne, auf welche du Bois-Reymond hingewiesen hat, kann jedoch nicht in dessen Sinne zur Entscheidung der Frage, ob das Phasenverhältniss auf die Klangfarbe Einfluss habe, verwerthet werden, weil eben die gleichzeitige Veränderung des Intensitätsverhältnisses schon die Veränderung der Klangfarbe erklärt.

Höchst bemerkenswerth ist es nun, dass diese beiden Veränderungen den Vocalcharacter völlig unangetastet lassen. Man kann hieraus nur den Schluss ziehen, dass für diesen weder das Intensitäts- noch das Phasenverhältniss von irgend erheblicher Bedeutung ist.

Beachtung verdient, dass beim Fernsprechen auf grosse Distanzen, z. B. zwischen Berlin und Hamburg, das Verhältniss des Widerstands zum $m$fachen Potential sich dem des eben betrachteten Versuches annähert.

Selbst wenn die Potentiale der beiden Telephone viel höher wären, als ich sie experimentell gefunden habe (ich habe aber

bereits die höchsten der gefundenen Werthe der Rechnung zu Grunde gelegt, vgl. S. 554), würde dieser Schluss bestehen bleiben. Denn erstens wird der Einfluss des Telephons mit Widerstand auf die Amplituden durch die Versuche mit Musik auf das Bestimmteste bewiesen; zweitens würde dann grade so viel wie dem letzterwähnten Versuch an Beweiskraft entzogen würde, dem unten zu erörternden Microphonversuch zu Gute kommen, d. h. seine Beweiskraft verstärken.

Aber der gezogene Schluss lässt sich noch stärker begründen durch den Versuch mit dem Telephon im secundären Kreise, und mit 10000 Ohm in jeder der beiden Leitungen. Hier gilt Gleichung (8), für welche sämmtliche Constanten aus der Tabelle S. 553 bekannt sind. Es ist nämlich $Q = 0,1624 + 0,0015 = 0,1639$, $Q_1 = 0,2859 + 0,6075 = 0,8934$, $S = 0,0316$, $w =$ ca. 10000, $w_1 =$ ca. 10000, und es wird, wenn wir wieder $P = 1000$ setzen,

$n =$	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
$A =$	$1,24.100^2$	$1.19.500^2$	$1,05.1000^2$	$0,89.1500^2$	$0,76.2000^2$	$0,65.2500^2$	$0,57.3000^2$
			dividirt durch 100000				
$\eta =$	3° 48′	18° 24′	33° 48′	45° 25′	53° 56′	60° 16′	65° 5′

Hier werden also die Amplituden annähernd proportional den Quadraten der Schwingungzahlen übertragen. Die Amplitude des Tones 3000 wird, gleiche ursprüngliche Amplituden vorausgesetzt, 422 mal so stark übertragen als die des Tones 100. Wenn trotzdem, wie wir gesehen haben, der Vocalcharacter unverändert bleibt, so ist es ganz zweifellos, dass das Amplitudenverhältniss der Partialtöne für den Vocalcharacter ohne jede Bedeutung ist.

Das andere Extrem, nämlich vollständig gleiche Uebertragung aller Töne, wird durch Hinzufügung eines sehr grossen Eigenpotentials zu demjenigen der Telephone selbst, mittels der in der Tabelle S. 553 bestimmten grossen Inductionsspirale verwirklicht, denn hier ist Q ohne Eisenkern $= 1,84 + 0,45$, und mit Eisenkern $= 8,42 + 0,45$, ferner $w =$ ca. 1000 Ohm; es wird dann, wenn wieder $P = 1000$ gesetzt wird,

$n =$	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
Ohne Eisenkern $A =$	358,6	432,5	435,6	436,2	436,4	436,5	436,6
Mit Eisenkern $A =$	111,0	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7

Der Grenzwerth von A, bei strenger Verwirklichung der Gleichung (4), d. h. PQ, würde ohne Kern 436,7, mit Kern 112,7 sein, ist also schon für die tiefsten Töne fast erreicht. Der Versuch bestätigt, dass alle Töne sich gleichmässig und ohne Verminderung der Klangfarbe übertragen, aber sehr geschwächt. Die Schwächung drückt sich durch die Amplitudenzahlen aller Tabellen gut aus, da überall $P = 1000$ angenommen ist.

Hinsichtlich der Schwächung hat der directe Versuch (S. 555) ergeben, dass der grossen Spirale ohne Kern ein Widerstand von etwa 10000 Ohm und mehr, mit Kern erst weit über 20000 Ohm äquivalent ist. Dies stimmt vollkommen zur Theorie. Ist w der Widerstand des Telephonkreises ohne Hinzufügung, Q das Potential beider Telephone, w_1 und Q_1 Widerstand und Potential der hinzugefügten grossen Spirale, endlich W der dieser Hinzufügung äquivalente inductionsfreie Widerstand, so muss sein:

$$(w + w_1 + W)^2 + 4n^2\pi^2Q^2 = (w + w_1)^2 + 4n^2\pi^2(Q + Q_1)^2,$$

woraus sich W für jedes n und jedes Q_1 leicht berechnen lässt; es ist $w + w_1 = 1000$, $Q = 0{,}45$, $Q + Q_1$ ohne Eisenkern $= 2{,}29$ (wofür 2,25 genommen wird, weil dann $4\pi^2(Q + Q_1^2)$ grade $= 200$ ist), ferner $Q + Q_1$ mit Eisenkern $= 8{,}87$ (wofür 8,25 gesetzt wird, weil dann $4\pi^2(Q + Q_1)^2$ gerade $= 3000$ ist). Es wird dann

$n =$	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
Ohne Kern $W =$	709	6000	12892	19808	26731	33655	40495
Mit „ $W =$	4561	26374	53709	81054	108403	135751	163109

Mit Hülfe dieser Tabelle könnte man dem S. 555 beschriebenen Umlegeversuch noch grössere Schärfe geben und die Uebertragung jeder Tonhöhe bei genau gleicher Intensität einmal mit grossem Potential, einmal mit äquivalentem grossem Widerstand vornehmen.

Beim Microphon im einfachen Kreise könnten wir nun ebenfalls die übertragenen Amplituden, wenigstens für grosses Potential,

mit Hülfe der Gleichung (16) berechnen, wenn die Grössen W und w bekannt wären. Zur annähernden Feststellung derselben habe ich zunächst den Widerstand des Microphons, welches einen durch eine Feder beschwerten punctförmigen Contact zwischen einer Platinkuppe und einer geschliffenen verticalen Kohlenplatte besitzt, bei verschiedenen Stellungen des Instruments mittels des Wheatstone'schen Verfahrens gemessen. Der Widerstand betrug:

bei gewöhnlicher Verticalstellung	16,3 Ohm
„ horizontaler Lage, Platte unten,	6,1 „
„ „ „ „ oben,	48,8 „
„ stark mit dem Finger angedrückten Contact	0,4 „
während kräftigen Singens des Vocals A	46,7 „

Während des Schwingens des Microphons geht der Widerstand hiernach sicher nicht bis 0,4 Ohm herunter; nehmen wir an, dass der während des Singens gemessene Widerstand von 46,7 Ohm der mittlere bei der Oscillation ist, so haben wir als Maximum höchstens 93, als Minimum mindestens 0,4 Ohm zu betrachten, wonach sich W zu 46,7, w zu 46,3 ergeben würde. Dass der Mittelwerth (W) bei schwingendem Contact weit grösser ist als bei ruhendem Instrument (16,3) ist nicht zu verwundern[1]. Mit eingeschaltetem Telephon A wäre nun also $W = 46{,}7 + 201{,}6 = 247{,}3$ zu setzen, wozu noch der etwa 2 – 3 Ohm betragende Widerstand des Elements kommt, also $W = 250$, ferner $Q = 0{,}16$. Mit hinzugefügter Spirale ohne Kern steigt W auf etwa 880 und Q auf 2,0; w ist stets mit etwa 46 in Rechnung zu ziehen, offenbar zu gross, aber mit um so grösserer Sicherheit in Bezug auf das Resultat.

Die S. 550 ausgeführte Integration ist nur giltig, wenn $w^2/4\pi^2 n^2 Q^2$ gegen 1 vernachlässigt werden kann. Dies ist ohne Spirale zwar nicht für $n = 100$, wohl aber von $n = 200$ ab der Fall, und mit Spirale durchweg. Gleichung (16) ergiebt nun, wenn wir $E = 10^6$ setzen, folgende Amplituden:

---

1) Die entgegengesetzte Angabe von Boekmann (vgl. Wiedemann, Electricität. IV. 1231) betraf ganz andere Versuchsbedingungen.

n =	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
Ohne Spirale A =	(683,1)	328,4	178,0	120,7	91,0	73,0	61,0
Mit „ A =	34,07	8,23	4,15	2,77	2,08	1,66	1,39

Die eingeklammerte Zahl ist unzuverlässig, weil im betr. Fall die Bedingung der Integration nicht erfüllt war. Man sieht also, dass schon ohne Spirale, noch mehr mit derselben, die Amplituden den Schwingungszahlen nahezu umgekehrt proportional sind.

Dieser Einfluss bestätigte sich wiederum bei den musicalischen Klangfarben, liess aber die Characteristik der Vocale ebenso unberührt, wie der entgegengesetzte Einfluss beim Telephon.

Schon oben S. 562 habe ich darauf hingewiesen, dass, da der Einfluss des Potentials beim Telephon ein das Amplitudenverhältniss conservirender, beim Microphon im Gegentheil ein dasselbe störender ist, jeder etwa auf Ungenauigkeit der Potentialwerthe gegründete Einwand nichtig ist. Wären die wirklichen Potentialwerthe soviel grösser als die gefundenen und der Rechnung zu Grunde gelegten, dass die Erhaltung des Vocalcharacters trotz grosser Widerstände aus dem Princip der Gleichung (4) hergeleitet werden könnte, so würden die Microphonversuche noch grössere Beweiskraft haben. Aber die Parallelversuche mit Musikübertragung lassen überhaupt keinen Zweifel an der Richtigkeit unserer theoretischen Voraussetzungen zu, und überdies sind die oben angeführten experimentellen Potentialmessungen für unsern Zweck vollkommen genau genug.

Wir können also nunmehr mit vollster Sicherheit den Schluss aussprechen, dass der Vocalcharacter vom Amplitudenverhältniss der Partialtöne in dem Grade unabhängig ist, dass selbst wenn das Verhältniss der d r i t t e n P o t e n z e n der Amplituden an die Stelle des Amplitudenverhältnisses selbst tritt, der Vocal noch nicht merklich sich verändert; für die zweite Potenz ist dies durch die Telephonversuche mit secundärem Kreise erwiesen, und die Microphonversuche erweitern das Resultat bis auf die dritte Potenz.

Beziehung des Ergebnisses zur Theorie der Vocale.

Die von mir auf Grund der photographischen Aufzeichnungen aufgestellte Vocaltheorie wird durch die vorstehende Untersuchung

bestätigt. Für ein auf die Note *c* gesungenes *A* sind nach dieser Theorie nur **zwei Schwingungszahlen**, nämlich die des Stimmtones *c* und die des Mundtones (etwa g^2) das Wesentliche und zur Characteristik hinreichend. Schwingungszahlen werden aber durch Telephon und Microphon nicht verändert. Vermuthlich beruht auch die Characteristik der Consonanten wesentlich auf, zum Theil sehr hohen Tönen von fester Schwingungszahl; dann wäre es begreiflich, dass die Sprache überhaupt durch das Telephon und Microphon verständlich übertragen wird. Jede Theorie, welche auf bestimmte Amplitudenverhältnisse, auf „Verstärkungsgebiete" in den Obertönen des Stimmklanges, u. dgl. grossen Werth legt, scheint mir mit den Erfahrungen am Telephon und Microphon unvereinbar.

Nach meinen Untersuchungen genügt es für die Hervorbringung des Vocals *A*, wenn der Ton *fis*^{2} oder g^2 rasch intermittirend hervorgebracht wird; die Periode der Intermissionen bestimmt die Note, auf welche *A* gehört wird. Gesetzt nun dieser Vorgang würde, wie beim Telephon oder Microphon, durch einmalige oder mehrmalige Differentiation oder Integration verändert, so liegt kein Grund hierin, dass der Character des Gehörten verändert würde. Immer noch würde der Ton g^2, und zwar mit unveränderter Periodik der Unterbrechungen, intermittirend erklingen, das Characteristische des Vocals *A* also bestehen bleiben. Nur der Einfluss würde sich geltend machen, dass die Vocale mit hohen Tönen wie *E* und *I* gegenüber denjenigen mit tiefen Tönen, wie *U*, *O*, *A*, in der Reproduction durch die Differentiation (Telephon mit grossen Widerständen) begünstigt würden, während durch die Integration (Microphon mit grossem Eigenpotential des Kreises) das Entgegengesetzte eintreten muss. Selbst diese relative Begünstigung ist insofern zweifelhaft, als wir nicht wissen, ob es für die Characteristik eines Vocals wesentlich auf die **Intensität** seines characteristischen Tones ankommt.

Setzen wir nun an die Stelle der wirklichen Intermission eine blosse Amplitudenoscillation, so bleibt das Resultat das Gleiche, wenn es wahr ist, was ich aus meinen Versuchen folgern zu dürfen glaubte, dass nur die Vorgänge in der Arsis der Perioden für den Vocalcharacter massgebend sind. Am besten lässt sich dies an dem schematisch vereinfachten Vocal zeigen, welcher durch die

Schwebung zweier bestimmter Töne hervorgerufen wird. Die Gleichung einer solchen einfachen Schwebungscurve ist

$$y = a \,.\, \sin qmt \,.\, \sin mt, \qquad (\alpha)$$

worin wieder $m = 2\pi n$, und n eine Schwingungszahl ist. Da

$$\sin qmt \,.\, \sin mt = \tfrac{1}{2} (\cos (q-1)mt - \cos (q+1)mt),$$

so entsteht obige Curve durch Schwebung der Töne von den Schwingungszahlen $(q-1)n$ und $(q+1)n$, und liefert, wenn qn = circa 780 ist, den Vocal A, und zwar auf die Note $2n$, welche dem Differenzton von $(q-1)n$ und $(q+1)n$ entspricht[1]). Die umstehende Figur stellt die Curve (α) für $q = 10$ dar (zweitunterste Curve).

Die beiden ersten Differentialquotienten von y sind nun

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{ma}{2} [(q+1) \sin (q+1)mt - (q-1) \sin (q-1)mt], \qquad (\beta)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{m^2 a}{2} [(q+1)^2 \cos (q+1)mt - (q-1)^2 \cos (q-1)mt], \qquad (\gamma)$$

während das Integral von y (welches für das Microphon in Betracht kommen würde) lautet:

$$\int y dt = \frac{a}{2m} \left(\frac{\sin (q-1)mt}{q-1} - \frac{\sin (q+1)mt}{q+1} \right) + c. \qquad (\delta)$$

Auch die Curven (β), (γ), (δ) sind also Schwebungscurven derselben beiden Töne $(q-1)n$ und $(q+1)n$, aber jetzt mit ungleichen Amplituden. In den Differentialcurven hat der höhere, in der Integralcurve der tiefere die grössere Amplitude.

Wenn das Ohr, entsprechend der Helmholtz'schen Lehre, die Schwingungen nur in ihre Partialtöne zerlegte und diese wahrnähme, so würde, da die rechte Seite der Gleichungen direct die Partialschwingungen angiebt, in den 4 Fällen die Klangempfindung ganz verschieden sein müssen, da das Amplitudenverhältniss der Partialtöne $(q-1)n$ und $(q+1)n$ ist:

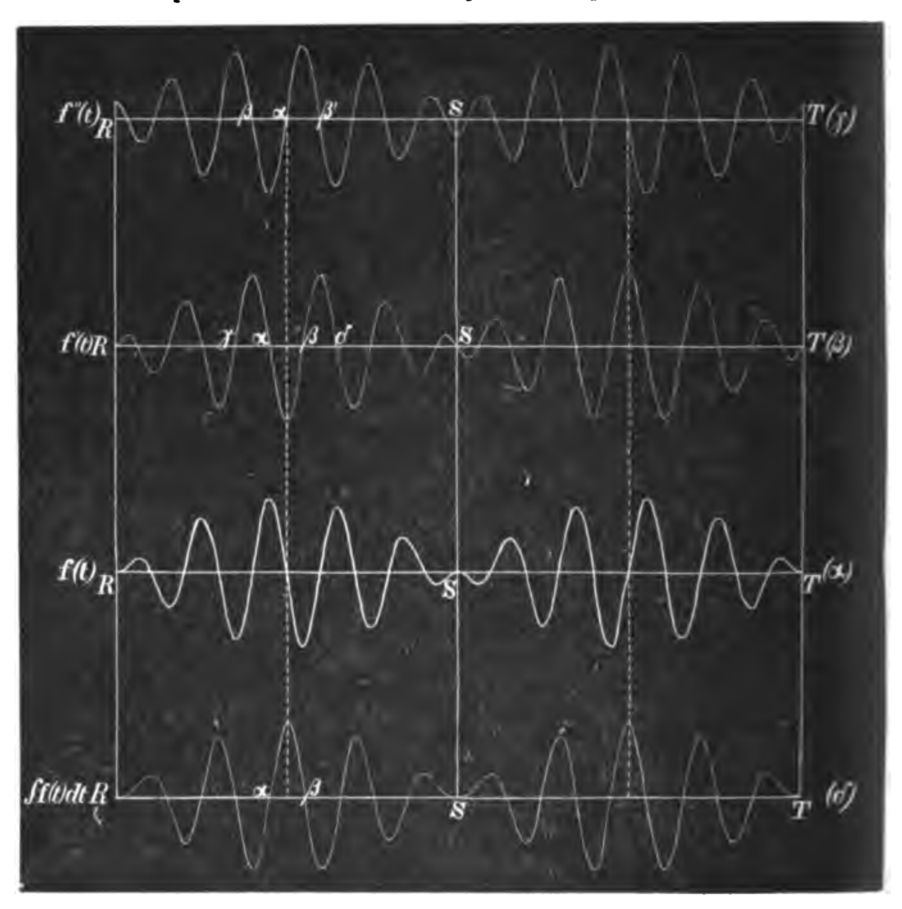
in (α) $1 : 1$,
in (β) $q-1 : q+1$
in (γ) $(q-1)^2 : (q+1)^2$
in (δ) $q+1 : q-1$.

Betrachten wir aber die resultirenden Curven, welche auf gleiche

---

1) Dies Archiv Bd. 47, S. 384.

Maximalintensitäten reducirt sind [1]), so begreift man, wie der Eindruck in allen 4 Fällen derselbe sein kann. In der stark gezeichneten Hauptcurve (α) sehen wir in jeder Halbperiode ($R\,S$) 5 Theil-



perioden von zu- und abnehmender Amplitude. In den derivirten Curven sind die Theilperioden nicht mehr streng gleich lang, sondern ihre Länge nimmt nach den Enden der Halbperiode etwas ab. Aber die Theilperioden in der Mitte, d. h. diejenigen von grösster Amplitude, haben noch fast unverändert die Länge der ursprünglichen Theilperiode, d. h. das Ohr nimmt immer noch auf der Höhe der Schwingung den characteristischen Ton des Vocals unverändert

---

1) Diese Curven sind durch Berechnung hinreichend zahlreicher Ordinatenwerthe und Eintragung auf Millimeterpapier gewonnen.

wahr; es ist mehr als wahrscheinlich, dass die mit dem Minimum der Amplitude verbundenen Abweichungen der partialen Schwingungsdauer in der Wahrnehmung vernachlässigt werden.

In welchem Grade die Länge der Theilperioden sich durch die Differentiation und Integration ändert, lässt sich genau angeben, indem man die Lage der Nullpunkte jeder Curve berechnet. Die Bedingungsgleichungen für die Nullwerthe sind; wenn wie in den Curven $q = 10$ gesetzt wird:

für Gleichung $(\alpha): \cos 9\,mt - \cos 11\,mt = 0,$ (ε)

" " $(\beta): 11 \sin 11\,mt - 9 \sin 9\,mt = 0,$ (ζ)

" " $(\gamma): 121 \cos 11\,mt - 81 \cos 9\,mt = 0,$ (η)

" " $(\delta): 11 \sin 9\,mt - 9 \sin 11\,mt = 0,$ (ϑ)

welche für t zu lösen sind. Die Nullpunkte jeder Curve geben zugleich die Lage der Maxima und Minima der in der Differentiation voraufgehenden Curve an, d. h. die Nullpunkte von (α) entsprechen den Maxima und Minima von (δ), die Nullpunkte von (β) den Maxima und Minima von (α), die von (γ) den Maxima und Minima von (β), wie auch die Figur ersehen lässt.

Von den Gleichungen (ε) bis (ζ) lässt sich nur die erste direct, die übrigen durch Näherungsverfahren lösen.

Aus (ε) ergiebt sich, dass die Nullpuncte von α, wenn in den Curven die ganze Periodenlänge 90 mm ist, in den Abscissenpuncten 0, $4\frac{1}{2}$, 9, $13\frac{1}{2}$, 18 etc. mm liegen; d. h. die Länge der Halbperioden in der Hauptcurve ist genau und durchgehends 4,5 mm.

Für die Curve (β), entsprechend dy/dt, ergiebt Gleichung (ζ) folgende Maasse:

Lage der Nullpuncte:	Länge der halben Theilperioden:
0	
	2,897 mm
2,897 mm	
	4,118 "
7,015 "	
	4,375 "
11,390 "	
	4,432 "
15,822 "	
	4,451 "
20,273 mm	
	4,454 "
24,727 "	
	4,451 "
etc.	
	4,432 "
	4,375 "
	4,118 "
	2,897 "

Die mittelste und zugleich höchste Halbperiode $\alpha\beta$ hat also eine Länge von 4,454 mm gegen die ursprüngliche Halbperiodenlänge von 4,5 mm, ist also nur um 0,046 mm verkürzt; dies entspricht einer Erhöhung des characteristischen Tones um weniger als $^1/_{12}$ Tonstufe. Auch die zunächst an die mittlere angrenzenden Halbperioden von 4,451, 4,432 etc. mm sind so wenig verkürzt, dass die erstere um etwas über $^1/_{12}$, die nächste um weniger als $^1/_8$ Ton erhöht ist. Wenn das Ohr also wesentlich die intensivsten Theilschwingungen wahrnimmt, so ergiebt sich, dass die Characteristik des Vocals durch die Differentiation nicht merkbar leiden kann; die Stimmnote bleibt natürlich in voller Strenge erhalten.

In der durch wiederholte Differentiirung gewonnenen Curve (γ) ergiebt sich aus (η) als Länge der höchsten Partialschwingung $\alpha\beta = \alpha\beta'$ 4,408 mm. Die Erhöhung beträgt also hier in der Mitte $^1/_{16}$ Tonstufe, d. h. sie ist auch hier ohne Einfluss, da die Breite der characteristischen Töne um ganze Töne schwankt.

In der Integralcurve (δ) endlich ist, wie Gleichung (ϑ) ergiebt, die Länge der höchsten Halbperiode $\alpha\beta = 4{,}96$ mm, also um 0,46 mm gegen die Hauptcurve verlängert. Dies entspricht einer Vertiefung des characteristischen Tones um $^4/_5$ eines ganzen Tones. Selbst diese Veränderung kann noch nichts Wesentliches am Vocalcharacter ändern.

Selbst dann also, wenn der Vocal durch Schwebungen zweier reiner Töne nachgeahmt wird, würden die durch Telephon oder Microphon bedingten Einflüsse den Vocalcharacter nicht ändern. Noch viel weniger aber kann dies der Fall sein, wenn die characteristischen Töne direct intermittirend oder mit oscillirender Amplitude hervorgebracht werden. Soviel ich sehe, sind diese Verhältnisse vor der Hand nur mit der von mir aufgestellten Vocaltheorie vereinbar.

Nachtrag. Die oben S. 554 ff. mitgetheilten Versuche mit Uebertragung von Musik habe ich nachträglich einem Musiker von Fach, Herrn Director Leimer vom hiesigen städtischen Conservatorium, vorgeführt, welcher ganz dieselben Eindrücke wie ich gewonnen hat. Ich führe dies mit ausdrücklicher Ermächtigung des genannten Herrn an.

Anhang.

Ueber den Einfluss des zweiten (hörenden) Telephons auf Amplitude und Phase, und über zwei ältere Versuche betr. das Phasenverhältniss bei der telephonischen Uebertragung.

In den oben S. 545 citirten Arbeiten von Weber und Helmholtz ist die Frage, ob etwa der Uebergang der Schwingungen auf die Eisenplatte des zweiten Telephons eine Aenderung der Klangfarbe bedinge, stillschweigend verneint worden. Beide Autoren gehen offenbar von der Ansicht aus, dass nur die electrischen Vorgänge solche Aenderungen bewirken können, dass also (innerhalb gewisser Grenzen) sowohl der Uebergang der Schwingungen von der Luft auf die Platte des ersten Telephons und von der Platte des zweiten auf die Luft und das Ohr, als auch die electromagnetische Bewegung der zweiten Platte durch die inducirten Ströme eine treue Wiedergabe der primären Schwingung ist[1]. Hierfür spricht vor Allem die Erfahrung, denn wir hören in der That, sobald diejenigen im Texte erwähnten Bedingungen erfüllt sind, welche den Einfluss der Inductionen auf die Amplitudenverhältnisse verhindern, alle Töne gleich gut, und nehmen die Klangfarbe so wahr wie beim directen Hören.

Wollte man die Telephonplatten theoretisch wie Resonatoren behandeln, welche durch die Luftschwingungen resp. die Oscillationen des Magnetismus in Mitschwingung versetzt werden, so würden sich starke Veränderungen der Phasen, und ferner ein erheblicher Einfluss der Schwingungszahlen auf die Amplituden ergeben; letztere würden im Allgemeinen dem Quadrate der Schwingungszahlen umgekehrt proportional ausfallen, die hohen Töne also relativ stark geschwächt erscheinen. Dass dies nicht der Fall ist, ist sicher. Der Grund, warum es beim Uebergang von der Luft an die Platte, und von der zweiten Platte an die Luft nicht eintritt, ist leichter einzusehen als der Fall bei der electromagnetischen Ingangsetzung der zweiten Eisenplatte. Vielleicht ist die gebräuchliche Auffassung dieser letzteren nicht die richtige.

1) Nur Helmholtz erwähnt überhaupt die Bewegung der zweiten Platte, aber nur insofern als ihre inductive Rückwirkung auf die Ströme vernachlässigt werden dürfe.

Man hört nämlich auch die electrischen Vorgänge direct. Dies habe ich schon für leere Drahtspiralen hervorgehoben[1]). Noch viel deutlicher hört man aber die zugeleiteten Ströme eines Inductoriums und sogar die Telephonsprache mit dem seiner Eisenmembran beraubten Telephon; man kann sogar die Worte verstehen. Bedeutend verstärkt wird dieses Hören, wenn man auf den Pol des Telephons irgend welche Eisenmassen auflegt, auch wenn dieselben keine Membranform haben, z. B. eine dicke Eisenplatte oder ein eisernes Pfundgewicht. Es scheint fast so, dass beim telephonischen Hören wesentlich die Ströme selbst und die durch die Ströme bewirkten Molecularbewegungen des Eisens im magnetischen Felde gehört werden.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn grössere Massen durch das Telephon in elastische oder sonstige Schwingungen versetzt werden.

In der Literatur habe ich zwei Versuche gefunden, welche als Beweis dafür angeführt werden, dass die Inductionsvorgänge im Telephon eine Phasenverschiebung um $^1/_4$ Periode bewirken.

S. P. Thompson[2]) hängt zwei gleich schwere Telephone an gleich langen Drähten auf und befestigt unter jedem einen Magneten. Versetzt man nun das erste Telephon in Pendelschwingungen, so werden durch die Vorbeigänge am Magneten Ströme inducirt, welche allmählich auch das zweite Telephonpendel in isochrone Schwingungen versetzen. Beide Pendelschwingungen sind um $^1/_4$ Periode in der Phase verschieden.

R. König[3]) ersetzt die Membranen zweier verbundener Telephone durch zwei genau consonante Stimmgabeln. Wird die eine in Schwingungen versetzt, so schwingt allmählich auch die andere mit, und zwar, wie die Vergleichung nach der Lissajou'schen Methode ergiebt, mit $^1/_4$ Periode Phasendifferenz.

Es ist mehr als unwahrscheinlich, dass diese Resultate durch eingeschaltete grosse Widerstände (vgl. S. 546 f.) zu erklären sind. Denn grosse Widerstände sind sicher in beiden Versuchen, da es

---

1) Dies Archiv Bd. 16, S. 507 Anm. 1878.

2) Nature Bd. 20, p. 446. 1880; das Original ist mir unzugänglich; ich kann nur das Referat in den Beiblättern zu d. Ann. d. Physik Bd. 4, S. 295 benutzen.

3) Quelques expériences d'acoustique. Paris 1882. p. 167.

grade auf möglichste Stärke der inducirten Ströme ankam, vermieden worden. Vielmehr ist der Grund des Resultats, wie ich durch die folgende theoretische Betrachtung gefunden habe, ein ganz anderer.

War, wie es höchst wahrscheinlich ist, der Widerstand klein gegen mQ, so folgten die inducirten Ströme genau dem Gange des primären Vorganges, und hatten also im König'schen Versuche die Form $\varkappa \sin mt$, worin $\varkappa$ eine Constante und m wieder die Schwingungszahl der Stimmgabel für 2π Secunden. Ist nun x die Elongation der zweiten Stimmgabel zur Zeit t, und k^2 deren Elasticitätsconstante, so ergiebt, da eine Dämpfung nicht vorhanden ist, die mechanische Betrachtung der electromagnetischen Einwirkung auf die zweite Stimmgabel folgende Differentialgleichung (die Masse $= 1$ gesetzt, λ eine Constante):

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + k^2 x = \lambda \sin mt,$$

und die Integration ergiebt, wenn für $t = 0$ sowohl x wie $\partial x/\partial t$ $= 0$ ist:

$$x = \frac{\lambda}{k(m^2 - k^2)}(m \sin kt - k \sin mt).$$

Da k zugleich die eigene Schwingungszahl der zweiten Stimmgabel für 2π Sec. darstellt, so interferirt also die einwirkende Schwingung mit der Eigenschwingung, und zwar verhalten sich die Amplituden umgekehrt wie die Schwingungszahlen.

Ist nun, wie im König'schen Versuch, $m = k$, so nimmt die letztere Gleichung die Form 0/0 an; der wahre Werth ergiebt sich nach bekannter Regel zu

$$x = \frac{\lambda}{2k^2}(\sin kt - kt \cos kt).$$

Die Schwingung setzt sich also jetzt aus einer sin- und einer cos-Schwingung von gleichem Argument zusammen; die Amplitude der letzteren nimmt aber, wie es ja auch im Wesen des Versuches liegt, der Zeit proportional beständig zu. Hierdurch wird der Einfluss des ersten Summanden relativ immer unbedeutender, so dass, sobald die Schwingung die zur Beobachtung erforderliche Grösse überhaupt erlangt hat, der Vorgang mit genügender Genauigkeit geschrieben werden kann:

$$x = -\frac{\lambda t}{2k} \cos kt;$$

die Sinusschwingung versetzt also die zweite Stimmgabel in eine Cosinusschwingung, d. h. die Phase ist um $^1/_4$ Periode verzögert.

Ganz dasselbe ergiebt sich für den Thompson'schen Versuch. Nur ist hier die Form des primären Vorgangs complicirter, weil der inducirte Strom in jeder Periode 4 mal sein Vorzeichen wechselt und die beiden beim Vorübergange am Magneten eintretenden Wechsel sehr plötzlich erfolgen. Auch treten hier an Stelle von k^2 Constanten der Schwere und Pendellänge.

Man kann also nicht, wie es Wiedemann in seiner Electricitätslehre thut[1]), diese erst am zweiten Telephon erfolgenden Phasenverschiebungen als Beweis dafür anführen, dass die Inductionsströme im du Bois'schen Sinne eine Phasenverschiebung um $^1/_4$ Periode bewirken. Dass dies letztere nicht der Fall zu sein braucht, habe ich durch einen directen einwandfreien Versuch, den Wiedemann nicht erwähnt, bewiesen[2]). Auch klärt letzterer den Widerspruch nicht auf, der darin liegt, dass er selbst unmittelbar nach Anführung des Thompson'schen Versuches seine Erklärung desselben durch Anführung der Arbeiten von Weber und Helmholtz in Frage stellt.

Dass die soeben angeführte Betrachtung, die sich leicht auch auf Fälle mit Dämpfung ausdehnen lässt, nur für relativ selbstständige grosse elastische oder schwere Massen und nicht für die gewöhnliche Telephonplatte anwendbar ist, habe ich oben erörtert.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Ueber die Prüfung von Vocalcurven mittels der König'schen Wellensirene.

(Vorläufiger Bericht.)

Von

L. Hermann.

Wie ich schon in meiner Arbeit über photographische Aufnahme von Vocalcurven (S. 369) angedeutet habe, erschien mir eine

1) 3. Aufl. Bd. 4, S. 288. 1885.

2) Dies Archiv Bd. 17, S. 327. Wiedemann's Ann. Bd. 3, S. 88. 1878.

Prüfung der gewonnenen Curven an der König'schen Wellensirene höchst wünschenswerth. Wenn ich schon jetzt, obgleich ich bisher nur an zwei Vocalcurven diese Prüfung ausführen konnte, darüber berichte, so liegt der Grund hauptsächlich darin, dass die Herstellung der erforderlichen Curvenbleche eine sehr zeitraubende Arbeit ist, und daher die Untersuchung nur in grösseren Intervallen fortgesetzt werden kann.

Ich bezog von Herrn Dr. König in Paris eine Wellensirene der kleineren Art (Nr. 60, S. 29 des französischen Catalogs, abgebildet daselbst Fig. 19, S. 28; vgl. auch König, Quelques expériences d'acoustique, Paris 1882, S. 235, Fig 65). Dieselbe hat eine Windlade mit 6 Ausströmungsspalten, welche durch Handgriffe einzeln geöffnet werden können. Zum Betreiben benutze ich ein kräftiges rotirendes Gebläse (sog. Roots Blower), welches durch electrische Kraftübertragung im Gang erhalten wird. Die Sirene darf wegen des vom Gebläse bewirkten Geräusches nicht in demselben Zimmer mit letzterem stehen, auch nicht im unmittelbar anstossenden Zimmer; ich habe daher eine Windleitung von $7^1/_2$ cm. Durchmesser aus Blechröhren herstellen lassen, welche durch die Mauern hindurchgeht und sich auch für viele andere akustische Versuche nützlich erweist, z. B. für die Doppelsirene.

Die Sirene hat drei abnehmbare eiserne Räder, auf deren Stirnfläche die Wellenbleche aufgeschraubt werden. Jedes Wellenblech kann an seinem oberen und unteren Rande eine Curve erhalten, welche durch die gegenüberstehende Spalte angeblasen wird. (Die 6 mit bezogenen Wellenbleche sind die von König zur Untersuchung des Phaseneinflusses construirten; vgl. a. a. O.) Ich entfernte eines dieser Bleche und liess an Stelle desselben ein Blech mit zwei Curven des Vocals *A* anbringen.

Hierzu wurden die beiden S. 353, 354 meiner Arbeit in ihren Maassen verzeichneten Curven von *A* auf die Noten *H* und *g* gewählt. Die daselbst angegebenen 40 Ordinaten jeder Curve wurden vergrössert auf mm-Papier übertragen; die Vergrösserung betrug bei *H* $12^1/_2$, bei *g* 20, so dass bei beiden Curven die Maximalordinaten 25 mm betrugen. Das Abscissenintervall je zweier Ordinaten wurde so gewählt, dass die Länge jeder Periode einen genauen Bruchtheil der Peripherie des Blechkranzes betrug, welche letztere 597 mm lang ist. Von der *A*-Curve auf *H* wurden 10, von derjenigen auf *g* 16 Perioden auf den Umgang gebracht. Die Her-

stellung des beide Curven tragenden Blechkranzes wurde so bewerkstelligt, dass die Curven vom Curvenpapier auf Stahlblech übertragen, aus letzterem genau ausgefraist, und die so gewonnene Schablone gehärtet, und successive auf das Blech zur Ausfeilung des letzteren aufgelöthet wurde. Das Blech wurde schliesslich auf den Radkranz aufgeschraubt, und auf der Drehbank genau gerichtet.

Da sich die Zahl der auf dem Kranz befindlichen Perioden beider Curven (10 und 16) wie die Schwingungszahlen von *H* und *g* (5 : 8) verhalten, so ist für beide Curven dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit erforderlich, um ihre Note richtig zu erzeugen, nämlich $12^1/_4$ Umdrehungen pro Sec. Die Drehung erfolgte aus freier Hand mittels einer Schnurscheibe, und wurde mittels der Note selbst controlirt.

Meine Erwartungen hinsichtlich des Erfolges wurden weit übertroffen. Denn ich sagte mir, dass, selbst wenn die zu Grunde gelegte phonophotographische Curve absolut treu wäre, doch noch viele Hindernisse da sind, welche sich der genauen Reproduction des erzeugenden Schalles entgegenstellen. Denn während beim Phonographen (der im Princip dasjenige leistet was wir beabsichtigen, nämlich Reproduction eines Schalles an der Hand seiner graphischen Aufzeichnung) alles direct mechanisch in einander greift, sind hier eine Reihe heterogener Zwischenglieder. Ferner ist das sinnreiche Princip der Wellensirene, die Stärke eines Luftstromes nach Massgabe der Ordinatenhöhe einer Curve oscilliren zu lassen, nur sehr annähernd verwirklicht: der Spalt ist nicht eine reine Ordinate, sondern hat eine merkliche Breite; ferner steht er vom Blechkranz eine ziemliche Strecke ab, so dass der Luftstrom, auch wenn der Spalte in ihrer ganzen Länge Metall gegenübersteht, keineswegs unterbrochen ist, u. dgl. mehr. Endlich sind mit dem Betriebe der Wellensirene starke Nebengeräusche verbunden.

Trotz alledem ertönt bei hinreichend schneller Rotation sowohl mit der *H*- wie mit der *g*-Curve ein ganz zweifelloses, kräftiges und schönes *A*, das jeder Hörer augenblicklich erkennt. Alle Herren meiner Umgebung, welche dem Versuch, zum Theil wiederholt, beigewohnt haben, waren von der Deutlichkeit des Vocals *A* überrascht. Am schönsten wird der Vocal, wenn genau die richtige Drehgeschwindigkeit eingehalten, d. h. die Note *H*, resp. *g* erzeugt

wird. Bei etwas geringerer Geschwindigkeit hört man *Ao*, dann ein (weniger schönes) *O*, endlich blökende Laute, welche an die analog zu erklärenden des Phonographen bei veränderter Drehgeschwindigkeit[1]) erinnern. Die Richtung der Drehung hat keinen Einfluss auf das Gehörte.

Bemerkenswerth ist auch hier wieder, dass man keine andere Note deutlich hört, als die der ganzen Periodendauer entsprechende, d. h. den Grundton des Klanges. Wir besitzen von den beiden verwendeten Curven vollständige Analysen[2]) in den Tabellen 2, 3 und 4 (Seite 355—357) meiner Arbeit, und ersehen daraus, dass die Amplitudenverhältnisse der Partialschwingungen sind:

t	1	2	3	4	5	6	7	8
A auf *H* . .	0,05	.	0,09	0,22	0,37	0,45	0,10	0,15
A „ *g* . .	0,11	.	0,39	0,55	0,21	0,11	0,08	.

(Die durch Puncte vertretenen Amplituden sind kleiner als 0,05.) Die Amplitude des Grundtons ist in beiden Curven nahezu die schwächste der über der Fehlergrenze liegenden (s. a. a. O.); trotzdem hört man ihn durchaus dominirend. Der Versuch an der Wellensirene ergänzt also die analogen Erfahrungen, welche S. 385 f. meiner Arbeit mitgetheilt sind, insofern als die phonophotographischen Curven, welche zu jenen Betrachtungen und Versuchen Anlass gegeben haben, weil die Grundperiode, obwohl von ungemein kleiner Amplitude, doch für die Höhe der Tonempfindung massgebend ist, nunmehr wirklich als ausreichendes Bild des Vorganges, zunächst für den Vocal *A*, erprobt sind.

Ich gedenke, wie schon eingangs erwähnt, auch die Curven anderer Vocale an der Wellensirene zu prüfen.

---

1) Vgl. dies Archiv Bd. 47, S. 42.

2) Bezüglich der von mir Bd. 47, S. 47 gegebenen Ableitung der Formeln für die Coëfficienten bemerke ich nachträglich, dass dieselbe in gewisser Beziehung unvollständig ist. Die vollständige Begründung findet man in der damals noch unbekannten Arbeit von Bessel (Citat s. in diesem Bande S. 186).

Ein Beitrag zur Lehre vom Eiweissbedarf des gesunden Menschen.

Von

Dr. Studemund

in Rostock.

Die Durchschnittswerthe, welche C. von Voit für das tägliche Kostmass eines normalen erwachsenen Arbeiters von mittlerer Grösse und mittlerem Gewicht bei mittlerer Arbeitsleistung gefunden hat, sind bekanntlich:

118 gr Eiweiss, 56 gr Fett, 500 gr Kohlehydrate und für die erwachsene Frau $^4/_5$ dieser Mengen.

Diese Norm ist von den meisten Forschern und von sehr vielen Anstaltsvorständen, welchen die Fürsorge für die Ernährung oblag, acceptirt worden. Doch sprechen zahlreiche Untersuchungen namentlich der jüngsten Zeit dafür, dass die Eiweissmenge, welche C. v. Voit fordert, zu hoch bemessen ist. Schon Hildesheim fand, dass ein Arbeiter mit nur 86 gr Eiweiss pro Tag auskam. Forster ermittelte in der Kost einer leistungsfähigen Frau von 61 kg Gewicht eine Tagesration von 76 gr Eiweiss, 23 gr Fett und 334 gr Kohlehydraten. Flügge fand in der Kost eines allerdings schwächlichen Arbeiters von 60 kg Gewicht eine Tagesration von nur 25 gr Eiweiss, 37 gr Fett und 290 gr Kohlehydraten. Bowie verlangt nach seinen Untersuchungen für kräftige Arbeiter durchschnittlich 109 gr Eiweiss, und die sehr genauen Untersuchungen von Pflüger und Bohland „über die Grösse des Eiweissumsatzes bei den Menschen“ haben als Maximalwerth der täglich umgesetzten Eiweissmenge nur 97,6 gr Eiweiss ergeben. Bleibtreu und Bohland haben eine Generaltabelle aufgestellt über den Eiweissverbrauch von Ruhenden, mässig Arbeitenden, und sehr stark sich Anstrengenden, Reconvalescenten und endlich ans Bett gefesselten, selbst fiebernden Kranken und haben aus dem Gesammtresultat den Mittelwerth von 96,467 gr Eiweiss berechnet; den durchschnittlichen Eiweissver-

brauch von wirklich körperlich angestrengt Arbeitenden geben sie mit 106,95 an, während von den mässig Arbeitenden nur durchschnittlich 88,64 gr Eiweiss umgesetzt werden. Nakahama ermittelte den Eiweissumsatz Leipziger Arbeiter zu 43,37 bis 93,31 gr, im Mittel zu 67,47 gr pro Tag und Kopf, selbst bei einem 77,8 kg schweren, kräftigen Klempner, der täglich 10 Stunden arbeitete, zu nur 70,56 gr.

Felix Hirschfeld hat durch Untersuchungen an sich selbst nachgewiesen, dass schon eine tägliche Eiweisseinnahme von nur 35—40 gr genügte, um ihn einige Zeit auf dem Körpergleichgewichte zu erhalten. Zu einem ähnlichen Resultate kamen ganz neuerdings Kumagawa und Klemperer. Doch fordert der eben genannte Autor Hirschfeld für den Soldaten pro Tag 100 gr Eiweiss, 110 gr Fett und 400 gr Kohlehydrate.

Bei Vergleichung der Angaben dieser Autoren ist die grosse Verschiedenheit des durchschnittlichen Eiweissverbrauchs eines normalen erwachsenen Menschen so auffallend, dass man glauben könnte, sie müsste durch zu geringe Zahl der Untersuchungen oder irgend welche Fehler bedingt sein. Jedoch die Namen der Autoren bürgen dafür, dass die Untersuchungen exact gemacht sind, und die Erklärung der verschiedenen Resultate liegt zweifellos zum grössten Theile in der Verschiedenheit der Umstände und Verhältnisse, unter denen die untersuchten Personen gelebt und sich ernährt haben.

Voit hat zu seinen Untersuchungen jedenfalls kräftige Leute benutzt, die in München in guten Verhältnissen lebten, während Meinert, der 52 gr als den niedrigsten Werth für den täglichen Eiweissverbrauch angiebt, seine Untersuchungen bei sächsischen Arbeiterfamilien gemacht hat, die in sehr dürftigen Verhältnissen lebten.

Um den richtigen Durchschnittswerth für den täglichen Stoffumsatz eines normalen, erwachsenen Menschen zu finden, kommt es einerseits auf eine möglichst grosse Anzahl der zu untersuchenden Personen, andererseits aber ganz besonders auf die genaue Controlirung der Lebensweise der Betreffenden an. In dieser Beziehung bietet das Militär ein sehr günstiges Material zur Untersuchung über den täglichen Verbrauch von Nährstoffen eines normalen erwachsenen Menschen bei mittlerer oder mehr als mittlerer Arbeit dar.

Auf Anregung meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Prof. Dr. Uffelmann habe ich im Laufe des Winters, während ich als einjährig-freiwilliger Arzt meiner Militärpflicht genügte, Gelegenheit genommen, die Ernährungsweise der Rekruten der 12. Comp. des Grossherzoglich-Mecklenburgischen Füsilier-Regiments Nr. 90 zu beobachten und bin durch das freundlichste Entgegenkommen des Compagniechefs in der Lage gewesen, sowohl die Beköstigung als auch den Dienst der Mannschaften genau zu controliren.

Die nachstehenden Untersuchungen sind vorgenommen in der Zeit vom 8. Novbr. 1888, an welchem Tage die Rekruten des Jahrgangs 1888/89 hier einrückten, bis zum 12. Febr. 1889; an diesem Tage fand die Vorstellung der Rekruten statt, und damit war die Ausbildungszeit derselben beendet. Die Anzahl der Rekruten, die der 12. Comp. zugetheilt wurden, betrug 47 Mann. An denselben wurde gleich am ersten Tage sowohl das Gewicht als auch die Länge des Körpers festgestellt; dasselbe geschah am Tage nach der Vorstellung am 13. Febr. 1889.

Der Dienst, den die Rekruten während der angegebenen Zeit leisteten, ist mit geringen Abweichungen täglich derselbe gewesen. Morgens von 7—8 Uhr Instructionsstunde, darauf in den ersten 14 Tagen 2, später 3 Stunden Exercirübungen, Mittags 1 Uhr Befehlsempfang resp. Appell, Nachmittags wieder 2 event. 3 Stunden Exercirübungen, 1 Instructionsstunde und des Abends von 6—7 Uhr Putzstunde. Somit hatten die Leute officiel 5—6 Stunden Exercirübungen, 2 Instructionsstunden und eine Putzstunde. Dabei muss noch in Betracht gezogen werden, dass die Entfernung des Quartierhauses vom Exercirplatz einen Weg von 20 Minuten erfordert, die Mannschaften also täglich circa $1^1/_2$ Stunden mit Hin- und Hergehen nach dem Exercirplatze verbraucht haben; ferner mussten die Leute nach dem Morgendienste ihre Sachen zum Nachmittagsdienste wieder gereinigt und geputzt haben, und endlich nahmen die täglich vorgenommene Sachenrevision und der Befehlsempfang auch etwa eine halbe Stunde in Anspruch, während welcher Zeit die Leute am Platze sein mussten. Nach dieser Angabe darf man die gesammte Dienstzeit der Rekruten auf 11 Stunden pro Tag veranschlagen, von denen 5—6 entschieden als Stunden von mehr als mittlerer Arbeit bezeichnet werden dürfen.

Was die Ernährungsweise der Rekruten während der angegebenen Zeit betrifft, so ist in erster Linie die Compagniever-

pflegung zu erwähnen, die den Soldaten täglich 3 Mahlzeiten liefert, Morgens Kaffee mit Milch, Mittagessen und des Abends wieder Kaffee mit Milch mit Ausnahme des Mittwochs und Sonnabends, an welchen Tagen Abends Grütze in Milch gegeben wird, dazu kommt die tägliche Brodration; ferner ist zu berücksichtigen, dass sich die Soldaten auch ausserhalb des Quartiers für Geld Lebensmittel erwerben, und endlich kommen noch die den Rekruten von Hause zugeschickten Nahrungsmittel bei der Berechnung des durchschnittlichen täglichen Kostmaasses in Betracht. Die beiden letzten Quellen sind mit grösster Sorgfalt controlirt worden, indem jede Packetsendung offiziell geöffnet und der Inhalt nach Qualität und Quantität aufgezeichnet wurde. Die Mengen der gekauften Lebensmittel sind nach den Geschäftsbüchern eines Kaufmanns berechnet, der in unmittelbarer Nähe des Quartierhauses wohnt und ein besonderes Verkaufslokal für die Soldaten der 12. Comp. besitzt. Das Nähere über die Nahrungsmittel wird weiter unten geschildert werden.

Die Morbidität der Rekruten war während der Ausbildungszeit folgende: Von den 47 Rekruten der 12. Comp. erkrankten insgesammt 19 Mann, von denen aber nur 5 ins Lazareth aufgenommen wurden. Die übrigen 14, die revierkrank waren, d. h. keinen Dienst hatten, aber sonst in gleicher Weise wie die gesunden Mannschaften verpflegt wurden, litten an leichten Erkrankungen, Rachenkatarrh, Bindehautentzündung, Furunkel, Frostbeulen und unbedeutenden Verletzungen. Von den 5 Lazarethkranken, die natürlich besonders beköstigt wurden, ist einer nach 22 tägigem Krankenlager an Lungenentzündung gestorben. Von den übrigen 4 ist einer 35 Tage wegen Magenkatarrhs, einer 6 Tage wegen katarrhalischer Bindehautentzündung und die beiden andern wegen umfangreicher Frostbeulen an Händen und Füssen 10 resp. 17 Tage im Lazareth behandelt worden. Danach war die Morbidität der Rekruten während der Beobachtungszeit eine sehr geringe; denn abgesehen von den leichten revierkranken Fällen und den im Lazareth behandelten Frostbeulen und Bindehautkatarrh bleiben nur ein Fall von Lungenentzündung und ein Fall von Magenkatarrh übrig, und von diesen wird auch nur der letztere eventuell mit der Ernährungsweise in Beziehung gebracht werden können.

Zur genaueren Feststellung der verbrauchten Mengen an Nährstoffen pro Kopf und Tag sind im Folgenden die Speisezettel von 24 Tagen und die aus den Mengen der täglich verbrauchten Nah-

rungsmittel nach Abzug etwaiger Abfälle berechneten Durchschnittswerthe von Eiweiss, Fett und Kohlehydraten incl. der täglichen Brodration von 750 gr angegeben:

Sonnabend, 9./XI. 1888.

Schweinefleisch, Bohnen und Kartoffeln. 107 Portionen, pro Portion: 112,2 gr Eiweiss, 21,1 gr Fett, 539,6 gr Kohlehydr.

Sonntag, 10./XI. 1888.

Hammelfleisch, Kartoffeln und Kohl. 107 Portionen, pro Portion: 103,5 gr Eiweiss, 18,6 gr Fett, 518,5 gr Kohlehydr.

Montag, 11./XI. 1888.

Hammelfleisch, Klösse und Pflaumen. 105 Portionen, pro Portion: 102,6 gr Eiweiss, 17,3 gr Fett, 485,5 gr Kohlehydr.

Dienstag, 12./XI. 1888.

Schweinefleisch und Kartoffeln 111 Portionen, pro Portion: 91,6 gr Eiweiss, 20,9 gr Fett, 529,6 gr Kohlehydr.

Mittwoch, 13./XI. 1888.

Rindfleisch, Wurzeln und Kartoffeln. 113 Portionen, pro Portion: 97,4 gr Eiweiss, 14,3 gr Fett, 514,6 gr Kohlehydr.

Donnerstag, 14./XI. 1888.

Hammelfleisch, Kohl und Kartoffeln. 112 Portionen, pro Portion: 95,4 gr Eiweiss, 18,0 gr Fett, 501,4 gr Kohlehydr.

Freitag, 15./XI. 1888.

Schweinefleisch, Kartoffeln, Erbsen und Wurzeln. 112 Portionen, pro Portion: 107,7 gr Eiweiss, 23,0 gr Fett, 530,3 gr Kohlehydr.

Sonnabend, 16./XI. 1888.

Rindfleisch, Kartoffeln und Pflaumen. 114 Portionen, pro Portion: 97,8 gr Eiweiss, 16,2 gr Fett, 526,9 gr Kohlehydr.

Montag, 16./XII. 1888.

Kalbfleisch, Kartoffeln und Klösse. 108 Portionen, pro Portion: 93,8 gr Eiweiss, 16,9 gr Fett, 533,8 gr Kohlehydr.

Dienstag, 17./XII. 1888.

Schweinefleisch, Klösse und Pflaumen. 109 Portionen, pro Portion: 94,9 gr Eiweiss, 24,5 gr Fett, 482,0 gr Kohlehydr.

Mittwoch, 18./XII. 1888.

Hammelfleisch, Kohl und Kartoffeln. 110 Portionen, pro Portion: 98,4 gr Eiweiss, 20,2 gr Fett, 536,4 gr Kohlehydr.

Donnerstag, 19./XII. 1888.

Rindfleisch, Kartoffeln, Bohnen und Pflaumen. 116 Portionen, pro Portion:
97,9 gr Eiweiss, 21,0 gr Fett, 530,0 gr Kohlehydr.

Freitag, 20./XII. 1888.

Schweinefleisch, Kartoffeln, Erbsen und Wurzeln. 118 Portionen, pro Portion:
107,8 gr Eiweiss, 20,9 gr Fett, 540,7 gr Kohlehydr.

Sonnabend, 21./XII. 1888.

Rindfleisch, Kartoffeln und Wurzeln. 118 Portionen, pro Portion:
96,5 gr Eiweiss, 18,8 gr Fett, 507,7 gr Kohlehydr.

Sonntag, 22./XII. 1888.

Schweinebraten, Kartoffeln und Pflaumen. 118 Portionen, pro Portion:
106,7 gr Eiweiss, 29,5 gr Fett, 552,6 gr Kohlehydr.

Montag, 23./XII. 1888.

Schweinefleisch, Kartoffeln und Klösse. 61 Portionen, pro Portion:
102,8 gr Eiweiss, 19,5 gr Fett, 556,2 gr Kohlehydr.

Donnerstag, 17./I. 1889.

Rindfleisch, Kartoffeln und Wurzeln. 119 Portionen, pro Portion:
100,7 gr Eiweiss, 20,0 gr Fett, 520,8 gr Kohlehydr.

Freitag, 18./I. 1889.

Schweinefleisch, Bohnen und Kartoffeln. 119 Portionen, pro Portion:
110,1 gr Eiweiss, 18,4 gr Fett, 539,3 gr Kohlehydr.

Sonnabend, 19./I. 1889.

Rindfleisch, Kartoffeln und Pflaumen. 118 Portionen, pro Portion:
102,0 gr Eiweiss, 24,3 gr Fett, 517,7 gr Kohlehydr.

Sonntag, 20./I. 1889.

Schweinebraten, Kartoffeln und Sauce. 118 Portionen, pro Portion:
97,8 gr Eiweiss, 16,6 gr Fett, 535,9 gr Kohlehydr.

Montag, 21./I. 1889.

Hammelfleisch, Kohl und Kartoffeln. 118 Portionen, pro Portion:
101,7 gr Eiweiss, 19,3 gr Fett, 509,2 gr Kohlehydr.

Dienstag, 22./I. 1889.

Schweinefleisch, Klösse und Pflaumen. 119 Portionen, pro Protion:
93,9 gr Eiweiss, 16,7 gr Fett, 461,7 gr Kohlehydr.

Mittwoch, 23./I. 1889.

Rindfleisch, Kartoffeln und Wurzeln. 117 Portionen, pro Portion:
101,0 gr Eiweiss, 23,9 gr Fett, 508,8 gr Kohlehydr.

Donnerstag, 24./I. 1889.

Schweinefleisch, Kartoffeln und Bohnen. 116 Portionen, pro Portion:
107,9 gr Eiweiss, 27,3 gr Fett, 543,6 gr Kohlehydr.

Der Berechnung sind folgende Procentsätze[1]) zu Grunde gelegt:

	Eiweiss	Fett	Kohlehydr.
Rindfleisch	18 pCt.	6 pCt.	— pCt.
Hammelfleisch . . .	17 „	5 „	— „
Schweinefleisch . . .	17 „	10 „	— „
Kalbfleisch	16 „	2 „	— „
Kartoffeln	1,5 „	0,5 „	20 „
Bohnen	25 „	2 „	52 „
Erbsen	23 „	2 „	52 „
Reis	7,8 „	— „	76,5 „
Grütze	12,6 „	4 „	70 „
Mehl	11 „	1,25 „	66 „
Brod	7 „	1,5 „	50 „
Käse	27 „	7 „	— „
Mettwurst	17,5 „	40 „	— „
Leberwurst	16 „	25,5 „	— „
Speck	2 „	98 „	— „
Schmalz	— „	100 „	— „
Spickgans	22 „	15 „	— „
Schinken	26 „	10,0 „	— „
Milch	4 „	3,4 „	3,8 „
Butter	0,5 „	88 „	— „

Als Abfall sind von Schweinefleisch 15 pCt., von Rind-, Kalb- und Hammelfleisch 18 pCt., von Kartoffeln, Bohnen, Erbsen und Wurzeln, Möhren 25 pCt. abgezogen.

Somit ergiebt sich aus der angeführten Speisetabelle folgender Durchschnittswerth der Compagnieverpflegung pro Tag und Kopf:

100,9 gr Eiweiss, 20,3 gr Fett, 521,8 gr. Kohlehydr.

Hierzu kommen als zweiter Faktor der Ernährung der Rekruten die Nahrungsmittel, welche sich die Mannschaften ausserhalb des Quartiers käuflich erworben haben. Der obenerwähnte Kaufmann, von dem notorisch die Soldaten der 12. Compagnie ihren Extrabedarf an Lebensmitteln beziehen, hat während der Ausbildungszeit der Rekruten durchschnittlich pro Monat folgende Mengen von Nahrungsmitteln an dieselben verkauft:

45 kg Brod, 30 kg Semmel, 25 kg Mettwurst, 6 kg Speck und 6 kg Käse. Die genaue Feststellung der von jedem Einzelnen gekauften Lebensmittel war wegen des an bestimmten Tagesstunden zu grossen Andrangs unmöglich; ich bin deshalb gezwungen, mich

1) Es wurden für die Beköstigung die mit Fett durchsetzten Fleischtheile bevorzugt; daher habe ich bei den Fleischarten hohe Fettprocentsätze in Anschlag gebracht. Der Eiweissgehalt des Fleisches ist sehr hoch, höchst wahrscheinlich zu hoch, berechnet.

auf die summarische Angabe zu beschränken und den Durchschnitt zu berechnen. Darnach ergiebt sich pro Tag und Kopf:

8,20 gr Eiweiss, 12,40 gr Fett, 25,00 gr Kohlehydr.

Schliesslich empfingen von den Rekruten noch 37 Mann Packetsendungen von Hause, welche zusammengenommen folgende Nahrungsmittel enthielten:

61 kg Butter, 45 kg Brod und Kuchen, 35 kg Mettwurst, 24 kg Fleisch, 19 kg Speck, 11 kg Schmalz, 8 kg Leberwurst, 2 kg Käse, 1 kg Spickgans und 1 kg Schinken.

Hiervon bekam der einzelne Mann folgende Nährstoffe:

	Eiweiss	Fett	Kohlehydr.
1.	1556,25	4935	—
2.	1440,25	5510	1125
3.	322,50	2330	—
4.	683,75	2830	—
5.	201,25	400	375
6.	227,50	3100	—
7.	622,25	2906	—
8.	817,50	2400	—
9.	401,25	2925	—
10.	62,50	1490	—
11.	221,25	4080	—
12.	111,25	1172	750
13.	1150,00	2350	5000
14.	495,00	500	1000
15.	140,00	30	1000
16.	87,50	1800	—
17.	382,50	6450	—
18.	647,50	2600	1625
19.	300,00	2020	—
20.	342,50	1450	—
21.	285,00	2090	—
22.	553,75	4275	500
23.	851,25	1825	500
24.	736,25	2800	1188
25.	25,00	1880	—
26.	206,25	1000	1125
27.	262,50	1315	—
28.	421,25	650	1750
29.	312,50	2860	1500
30.	817,50	2400	—
31.	767,50	1900	—
32.	215,50	1600	250
33.	546,25	1785	1750
34.	260,00	3380	125
35.	428,75	4000	500
36.	642,50	7450	—
37.	300,00	2750	750

Darnach hat durchschnittlich pro Tag jeder von den 37 Mann von Hause erhalten:

4,9 gr Eiweiss, 27,0 gr Fett, 6,0 gr Kohlehydr.

Dazu kommt der Werth der gekauften Lebensmittel:

8,2 gr Eiweiss, 12,4 gr Fett, 25,0 gr Kohlehydr.

und endlich der Werth der Compagnieverpflegung:

100,9 gr Eiweiss, 20,3 gr Fett, 521,8 gr Kohlehydr.

in Summa: 114,0 gr Eiweiss, 59,7 gr Fett, 552,8 gr Kohlehyd.

Dieses Ergebniss gilt jedoch nur für die 37 Rekruten, die noch von Hause Lebensmittel erhalten haben, während die anderen 10 Mann nur durchschnittlich pro Tag und Kopf:

109,1 gr Eiweiss, 32,7 gr Fett, 546,8 gr Kohlehydr.

zu sich genommen haben.

Nehme ich nun der einfacheren Rechnung wegen die letzten 10 Mann als den vierten Theil im Vergleich zu den 37, so bekomme ich als Resultat für den Durchschnittswerth der Ernährung der Rekruten der 12. Compagnie pro Kopf und Tag:

113,0 gr Eiweiss [1]), 54,3 gr Fett, 551,8 gr Kohlehydr.

Nachdem ich den durchschnittlichen Werth der täglichen Nahrungsaufnahme der Rekruten gefunden habe, will ich nun zeigen, wie sich das Körper-Gewicht derselben in der fraglichen Beobachtungsperiode verhielt. Die folgende Tabelle giebt in der ersten Reihe das Anfangsgewicht der Rekruten, am 8. Novbr. 1888 gemessen an, in der zweiten das Gewicht derselben nach Beendigung der Ausbildungzeit am 13. Febr. 1889 und endlich in der dritten die Differenz der beiden ersten Reihen, die Gewichts-Zunahme resp. -Abnahme. Sämmtliche Gewichte sind in nacktem Zustande der Rekruten ermittelt.

---

1) Derselbe ist wahrscheinlich noch geringer gewesen, da der Eiweissgehalt des Fleisches reichlich hoch berechnet wurde.

	Gewicht am 8./XI. 88	Gewicht am 13./II. 89	Differenz
1.	69 kg	72 kg	+3 kg
2.	66 „	75 „	+9 „
3.	68 „	77 „	+9 „
4.	65 „	69,5 „	+4,5 „
5.	70 „	71,5 „	+1,5 „
6.	71 „	abcommandirt	
7.	56,5 „	65 kg	+8,5 kg
8.	57,5 „	65 „	+7,5 „
9.	60,5 „	65 „	+4,5 „
10.	56 „	59,5 „	+3,5 „
11.	57,5 „	61,5 „	+4 „
12.	60 „	67,5 „	+7,5 „
13.	60,5 „	64 „	+3,5 „
14.	57,5 „	59,5 „	+2 „
15.	62 „	61 „	—1 „
16.	60,5 „	67 „	+6,5 „
17.	60,5 „	65 „	+4,5 „
18.	62 „	62 „	— „
19.	57 „	57 „	— „
20.	57 „	entlassen	
21.	56,5 „	61 kg	+4,5 kg
22.	57,5 „	64 „	+6,5 „
23.	58,5 „	61 „	+2,5 „
24.	60,5 „	66 „	+5,5 „
25.	64,5 „	gestorben	
26.	56 „	60,5 kg	+4,5 kg
27.	60,5 „	66 „	+5,5 „
28.	66,5 „	66,5 „	— „
29.	59 „	55,5 „	—3,5 „
30.	74 „	72 „	—2 „
31.	59 „	61 „	+2 „
32.	55,5 „	59,5 „	+4 „
33.	58 „	69 „	+11 „
34.	58 „	62 „	+4 „
35.	58 „	55 „	—3 „
36.	55,5 „	63 „	+7,5 „
37.	59,5 „	64 „	+4,5 „
38.	69,5 „	entlassen	
39.	71 „	67 kg	—4 kg
40.	64,5 „	entlassen	
41.	62 „	64,5 kg	+2,5 kg
42.	60 „	64,5 „	+4,5 „
43.	61 „	64 „	+3 „
44.	60 „	66 „	+6 „
45.	57 „	61,5 „	+4,5 „
46.	62 „	62,5 „	+0,5 „
47.	58 „	62 „	+4 „

Die Körperlänge der Rekruten lag zwischen 1,59 m und 1,63 m, nur ein Rekrut, dessen Gewichtszahlen unter Nr 3 der Tabelle aufgezeichnet sind, war 1,66 m lang.

Also haben von den 47 Rekruten 34 Mann an Körpergewicht

zugenommen, 3 Mann ihr Anfangsgewicht behalten und 5 Mann an Körpergewicht abgenommen. Ein Rekrut ist während der Ausbildungszeit gestorben, und die 4 letzten sind theils entlassen, theils abcommandirt und dadurch der weiteren Beobachtung entzogen. Ferner hat nach der Tabelle im Durchschnitt der einzelne Mann 3,5 kg zugenommen, während eines Zeitraumes von 92 Tagen also 38 gr pro Tag.

Man kann nun ohne Bedenken annehmen, dass dieser Zuwachs an Körpergewicht durch neu angesetzte Muskelsubstanz, nicht etwa durch Wasseraufnahme im Körper oder durch irgend welche krankhafte Ursachen bedingt war; denn das letztere wird einerseits durch die oben geschilderte geringe Morbidität, andererseits aber dadurch ausgeschlossen, dass die Leute durchweg ein frisches und gesundes Aussehen zeigten. Setzt man aber die Gewichtszunahme von 38 gr auf Rechnung der Muskelsubstanz, so muss bei der Berechnung des durchschnittlichen täglichen Eiweissverbrauchs 20 pCt. davon, also 7,6 gr pro Kopf und Tag in Abrechnung gebracht werden, die täglich in Körpersubstanz übergegangen, d. h. angesetzt sind. Dieses Quantum von 7,6 gr ist also noch von dem Eiweissquantum abzuziehen, welches als dasjenige der täglichen Einfuhr oben berechnet wurde. Geschieht dies, so erhalte ich als Durchschnittswerth des Verbrauchs an Nährmaterial pro Kopf und Tag:

105,4 gr Eiweiss, 54,3 gr Fett, 551,8 gr Kohlehydr.

Die obige Menge von

113,0 gr Eiweiss, 54,3 gr Fett, 551,8 gr Kohlehydr.

pro Kopf und Tag ist also nicht nur völlig ausreichend gewesen zur Erhaltung des Körpers in seinem stofflichen Gleichgewichtszustande, sondern sogar noch zur Bildung eines nicht ganz unerheblichen Ansatzes. Dabei will ich noch besonders an die Dienstleistungen der Rekruten erinnern, die, wie oben geschildert ist, doch zweifellos mehr als mittlere Arbeitskraft in Anspruch nehmen. Allerdings lässt sich einwenden, dass die bezeichneten Rekruten nach der Gewichtstabelle durchschnittlich nicht das von Voit für einen mittleren Arbeiter geforderte mittlere Körpergewicht von etwa 65 kg haben, und sich vielleicht deshalb ihr Bedarf an Eiweiss so viel geringer stellte als der von Voit normirte. *Allein es befinden sich Leute unter den Rekruten, die nicht nur das mittlere Körpergewicht von 65 kg hatten, sondern dasselbe noch überschritten.*

Von diesen will ich die 5 ersten Nummern der Gewichtstabelle noch näher ins Auge fassen.

Der zuerst angeführte Rekrut von 69 kg Anfangsgewicht ist 22 Jahre alt und 160 cm gross; er ist Stellmacher und im letzten Jahre auf dem Lande beschäftigt gewesen. Derselbe hat gar keine Packetsendungen von Hause erhalten und doch während der 3 monatlichen Ausbildungszeit 3 kg. an Körpergewicht zugenommen. Bei ihm hat also die Compagnieverpflegung fast allein — denn was er vom Kaufmann zukaufte, kann wegen seiner Mittellosigkeit nur sehr gering gewesen sein — noch einen ziemlich erheblichen Ansatz von Körpersubstanz bewirkt. Die 4 nächsten Rekruten sind Knechte und immer auf dem Lande beschäftigt gewesen. Sie sind sämmtlich 20 Jahre alt und 162 resp. 166, 161 und 161 cm gross. Sie haben alle von Hause Lebensmittel erhalten und sind in der Tabelle über den Nährwerth der zugeschickten Nahrungsmittel unter Nr. 2—5 aufgezählt. Nr. 2 erhielt von Hause 1440,25 gr Eiweiss, 5510 gr Fett und 1125 gr Kohlehydrate; Nr. 3 erhielt 322,5 gr Eiweiss und 2330 gr Fett; Nr. 4 erhielt 683,75 gr Eiweiss und 2830 gr Fett und endlich bekam Nr. 5 201,25 gr Eiweiss, 400 gr Fett und 375 gr Kohlehydrate. Nach der Gewichtstabelle haben die ersten beiden mit Nr. 2 und 3 bezeichneten die bedeutende Menge von 9 kg und die letzten unter Nr. 4 und 5 stehenden 4,5 resp. 1,5 kg zugenommen. — Es möge mir gestattet sein, hier noch weitere Beispiele aus früheren Untersuchungen des Herrn Prof. Dr. Uffelmann über die Ernährung der Rostocker Rekruten aus dem Jahrgange 1884/85 einzuschalten. Ein Rekrut von 71,5 kg Anfangsgewicht hatte während der $3^1/_2$ monatlichen Ausbildungszeit 7 kg zugenommen, derselbe hatte nur wenig Zubrod, d. h. Lebensmittel von Hause bekommen, etwa 2 gr Eiweiss pro Tag. Ein anderer von 72 kg Anfangsgewicht hatte nur durchschnittlich 1,5 gr Eiweiss pro Tag von Hause bekommen und dabei 8 kg an Körpergewicht zugenommen. Noch 2 andere Rekruten von 67 resp 67,5 kg Anfangsgewicht hatten während der Ausbildungszeit 3 und 4,5 kg zugenommen und auch nur sehr geringe Mengen Zubrod von Hause erhalten. Das durchschnittliche, tägliche Eiweissquantum der Compagnieverpflegung hatte Uffelmann damals auf 110 gr berechnet.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass auch diejenigen Rekruten, die das von Voit geforderte mittlere Körper-

gewicht hatten und noch überschritten, mit einem geringeren Durchschnittswerth von Eiweiss, als Voit ihn normirt hat, sich nicht nur in ihrem körperlichen Gleichgewichtszustande erhielten, sondern noch theilweise beträchtlich an Körpergewicht zunahmen, obgleich sie tüchtige und gewiss mehr als mittlere Arbeit leisteten. Allerdings weiss ich wohl, dass zur stricten Beweisführung ausser der Bestimmung des Körpergewichts und des Nährwerths der Nahrungsmittel die Ermittelung der Stickstoffausgabe nöthig gewesen wäre. Ich konnte dieselbe aber unter den obwaltenden Verhältnissen nicht einmal bei Einzelnen feststellen, und glaube auch, dass trotz des Fehlens dieser Ermittelungen die von mir gebrachten Data beweisende Kraft haben.

Es dürfte endlich nicht ohne Interesse sein, noch Näheres über das Volumen und die Consistenz der Nahrung zu erfahren, zumal da doch die Wirkung derselben in Bezug auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit der fraglichen Rekruten als eine durchaus günstige bezeichnet werden muss.

Das Volumen der täglich aufgenommenen Nahrung war ein sehr grosses; es setzte sich zusammen aus dem Volumen der Mittagskost, das durchschnittlich pro Kopf $1^1/_2$—2 Ltr. ausmachte und dem Volumen der täglichen Brodration von 750 gr, dazu kommen noch die 2 Portionen Kaffee, die man auch auf etwa 1 Ltr. pro Kopf veranschlagen kann. In Summa betrug also das Volumen der täglichen Nahrungseinfuhr der Rekruten etwa 3250 gr, das im Vergleich zu der durchschnittlichen Nahrungsmenge eines mittleren Arbeiters von 2000 gr als ein sehr bedeutendes bezeichnet werden muss. Was die Consistenz der Nahrung anbetrifft, so ist zu erwähnen, dass die Hauptmahlzeit, die Mittagskost, in dünnbreiiger Form als sogenanntes zusammengekochtes Essen gegeben wurde. Der Wassergehalt ist in 2 Portionen bestimmt worden, indem eine abgewogene Menge des Mittagessens im Trockenschranke bis zur Gewichtsconstanz getrocknet wurde; der gefundene Procentgehalt harmonirte vollkommen mit dem früher von Uffelmann angegebenen, er betrug durchschnittlich 75 pCt. Trotz dieser bedeutenden Flüssigkeitsmenge wird das zusammengekochte Essen von den Mannschaften gern genommen und bekommt ihnen erfahrungsgemäss sehr gut. Man muss hierbei in Betracht ziehen, dass die Leute sich fast den ganzen Tag im Freien bewegen und dadurch in der Lage sind, die grosse Menge der aufgenommenen Nahrung

in gehöriger Weise in ihrem Körper umzusetzen und den Wasserüberschuss zu eliminiren. Anders verhält es sich mit Gefangenen, die mit zusammengekochtem Essen ernährt werden. Bei diesen wird allgemein und mit Recht die flüssige, breiige Art des Essens als unzuträglich und schädlich verworfen. Die nachtheilige Wirkung beruht augenscheinlich darauf, dass die Inhaftirten in Folge ihrer mangelhaften Bewegung den Ueberschuss an Flüssigem in nicht genügender Weise aus ihrem Körper eliminiren können. Man darf deshalb die Breiform nicht wohl generell als eine ungeeignete Kostform verwerfen.

Zum Schluss erfülle ich die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Uffelmann für die Aufstellung des Themas sowohl, als auch für den mir bei der Bearbeitung desselben gütigst ertheilten Rath meinen gehorsamsten Dank auszusprechen.

Litteratur.

Hildesheim, Die Normaldiät. 1856.
Forster bei Voit, Untersuchung der Kost. S. 211.
Bowie, Zeitschrift für Biologie. XV. S. 459.
Bohland und Pflüger, Pflüger's Archiv f. Physiologie. Bd. 36, p. 165.
Bleibtreu und Bohland, Pflüger's Archiv f. Physiologie. Bd. 38, p. 1.
Nakahama, Archiv für Hygiene. VIII.
Hirschfeldt, Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. 41.
Meinert, Armee- und Volksernährung. I. S. 112.
Munk und Uffelmann, Handbuch der Diätetik. 1886.
Baer, Blätter für Gefängnisskunde. XVIII. S. 309 ff.
C. von Voit, Münchener medicin. Wochenschrift 1886. Nr 1 ff.
Andreae, Blätter für Gefängnisskunde. XXI. S. 233 ff.
Kumagawa, Virchow's Archiv 116. 370.
Klemperer, Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1889. 50.

Ueber Sensomobilität.

Von

Sigm. Exner,
Professor der Physiologie in Wien.

Mit dem Namen Sensomobilität möchte ich die Bewegungsfähigkeit bezeichnen, soferne sie von sensorischen Eindrücken beeinflusst, beherrscht oder bedingt wird, und zwar die Bewegungsfähigkeit im Allgemeinen. Es ist nämlich der Zweck nachstehender Zeilen, zu zeigen, dass eine solche Beeinflussung der Bewegungen durch centripetale Impulse eine im thierischen Körper überaus verbreitete Erscheinung ist. So geläufig uns Physiologen die Thatsache ist, dass einerseits eine Reflexbewegung eines sensorischen Impulses bedarf, um zu Stande zu kommen, andererseits ein Taubgeborener stumm zu sein pflegt, da er der sensorischen Eindrücke entbehrt, nach welchen er seine motorischen Sprachimpulse zu reguliren vermöchte, so wenig Aufmerksamkeit wird in der Regel der sensorischen Regulirung anderer Bewegungserscheinungen zugewendet, welche zwischen den beiden genannten Extremen stehen und die Uebergänge von den niedrigstehenden Reflexen zu den hochstehenden Sprachbewegungen bilden.

Den Ausgangspunkt zu den nachstehenden Betrachtungen bildeten Studien, die theils von mir, theils im Wiener Physiologischen Institut von Herrn stud. med. Pineles ausgeführt wurden und bereits publicirt sind[1]). Die merkwürdige Thatsache, dass beim Pferde eine Kehlkopfhälfte gelähmt wird, wenn der ihr zugehörige Nervus laryngeus superior, der bei diesem Thiere keinen

---

1) Exner, Ein physiologisches Paradoxon. Centralblatt für Physiol. III., 1889, S. 115, und Pineles, Ueber lähmungsartige Erscheinungen nach Durchschneidung sensorischer Nerven. Centralbl. für Physiol. IV., S. 741.

Kehlkopfmuskel motorisch innervirt, durchschnitten wird, ja dass sogar, wie das schon vorher H. Möller[1]) wusste und Pineles[2]) durch mikroskopische Untersuchung eingehend verfolgte, die Kehlkopfmuskeln dieser Seite einer Degeneration anheimfallen, musste zu Ueberlegungen und weiteren Nachforschungen über die Natur dieser Erscheinungen anregen. Bei der Durchmusterung älterer und neuerer Literatur nach analogen experimentellen Erfahrungen, die Herr Pineles vornahm, ist ihm der Nachweis gelungen, dass meine Erfahrung am Pferdekehlkopf nicht vereinzelt dasteht, dass sie sich vielmehr, allerdings als die auffallendste, einer ganzen Gruppe von vivisectorischen Ergebnissen einordnen lässt, die längst bekannt sind, ja als Grundlagen für eingreifende Lehrsätze der Physiologie gedient haben. Ergebnisse und Lehrsätze sind freilich heute nahezu vergessen, obwohl sie an zwei glänzende Namen physiologischer Wissenschaft geknüpft sind, an dem von Charles Bell und von Magendie. Nur Ferrier erwähnt in der ersten Auflage seines Buches „Functionen des Gehirns“[3]) dieser Versuche, und Filehne fällt das Verdienst zu, in neuester Zeit mit Nachdruck auf die Berechtigung gewisser in Vergessenheit gerathener Behauptungen Magendie's hingewiesen und durch Versuche sowie durch Erinnerung an Erfahrungen am Krankenbette die Tragweite derselben hervorgehoben zu haben[4]).

Bell lehrt[5]): „Wird der Oberkieferast des fünften Paares bei einem Esel blosgelegt, so erfolgt heftiger Schmerz auf dessen Berührung. Nach dem Durchschneiden wird keine Veränderung in der Bewegung der Nasenflügel sichtbar. Schneidet man nun auch auf der anderen Seite diesen Nervenast durch und lässt das Thier los, so rafft es sein Futter nicht mehr auf. Die Fähigkeit, die Lippen zu heben und zu spitzen, hat aufgehört, das Thier presst das Maul gegen den Boden und leckt die Futterkörner mit der Zunge auf.“ Und[6]): „Wenn ein Pferd aus der Hand oder vom

---

1) Das Kehlkopfpfeifen des Pferdes. Stuttgart, 1888.

2) Dieses Archiv Bd. XLVIII, S. 17.

3) Deutsch v. Obersteiner, S. 59 und 196.

4) Trigeminus und Gesichtsausdruck. Du Bois-Reymond's Archiv 1886, S. 432.

5) K. Bell's phys. u. path. Untersuch. d. Nervensystemes. Uebersetzt von M. H. Romberg. Berlin, 1832, S. 59.

6) S. 64, l. c.

Boden die Futterkörner aufrafft, so muss es dieselben fühlen, muss aber auch, geleitet von diesem Gefühle, seine Lippen bewegen. Die Versuche haben ergeben, dass, wenn man den siebenten oder fünften Nerven auf beiden Seiten des Gesichts durchschnitt, das Thier der Fähigkeit, das Futter zu greifen, beraubt wurde, aber aus verschiedenen Ursachen: im ersten Versuche wegen Verlustes der Bewegung, im zweiten wegen Verlustes der Empfindung." Ja Bell hat auf Grund solcher Versuche den Satz aufgestellt und wiederholt vertreten, dass der genannte Trigeminusast motorisch sei, aber nur beim Kauen, nicht beim Athmen diese seine Functionen ausübt.

Wie aus der Mittheilung von Pineles bekannt, ist die Schilderung, welche Bell von dem Esel giebt, dem beide Nervi infraorbitales durchschnitten worden waren, auch für das Pferd vollkommen zutreffend. Zwei in dieser Weise operirte Thiere verhielten sich fast, als wäre ihre Oberlippe motorisch gelähmt. Ich sage „fast", denn man konnte, allerdings nur bisweilen im Laufe der Wochen, durch welche die Beobachtungen fortgesetzt wurden, active Bewegungen auch an der Oberlippe bemerken, in der Regel aber hing sie schlaff herab und konnte zum Fassen von Hafer oder Brod nicht verwendet werden. Das ganze geschickte Muskelspiel an derselben war verschwunden, und wie Bell es treffend beschreibt, stösst das Pferd die Oberlippe gegen den Haferkorb oder das Stück Brod, drängt diese von sich weg, kann aber in der Regel die Lippe nicht erheben, um zu fassen. Die Thiere nehmen ihre Nahrung nach dieser Operation hauptsächlich mit der Unterlippe auf. Dass die Lähmung nicht eine so vollkommene ist, als wenn die Nervi faciales durchschnitten wären, wird Niemand auffallend finden und stimmt sehr gut zu meinen Beobachtungen am halbseitig gelähmten Kehlkopf des Pferdes; auch hier machte das kranke Stimmband im Gegensatz zu dem der nicht operirten Seite von dem Momente der Durchschneidung an keine einzige normale Athembewegung mehr, doch war im Laufe der Wochen seine Stellung, somit die Form und Weite der Glottis, nicht immer genau dieselbe.

Magendie[1]) beobachtete an Kaninchen ähnliche Ergebnisse

---

1) Vorlesungen über das Nervensystem und seine Krankheiten. Uebers. von G. Krupp. Leipzig, 1841, S. 306.

nach Durchtrennung von Trigeminusästen. Er sagt z. B. in seinen Vorlesungen: „Wir finden hier bei der Durchschneidung der isolirten Aeste des fünften Paares eine sonderbare Thatsache, die wir schon bei der Durchschneidung des Stammes bemerkten, dass nämlich die Bewegung überall aufgehoben ist, wo die Sensibilität vernichtet ist. So sind die Theile, zu denen der Ram. ophthalmicus geht, nach seiner Durchschneidung gelähmt. Der R. maxillaris superior wird durchschnitten: es erfolgt Paralyse der Bewegung in den Theilen, in welchen er sich verästelt, und doch ist das siebente Paar ganz sicher der motorische Nerv des Gesichtes. Weshalb kann er nicht allein wirken? Weshalb bedarf er des Beistandes eines sensitiven Nerven, um seine Functionen als motorischer zu erfüllen? Mit einem Worte, meine Herren, wir sind reicher an Thatsachen als an Erklärungen. Dies ist kein Uebel." .... Oder an einer anderen Stelle[1]): „Ich sagte, die Unbeweglichkeit der Augenlider bei diesem Kaninchen hinge davon ab, dass das siebente Paar durch die Durchschneidung des N. trigeminus seine Contractionsfähigkeit verloren hat. Ich will noch einige Augenblicke bei diesem Einflusse der Nerven auf einander verweilen, weil die Erscheinungen hier sehr deutlich sind." Er stellt dann zwei operirte Kaninchen vor, die, was die Lähmungserscheinungen betrifft, ähnliches Aussehen bieten, und fährt fort: „Ist bei diesen Thieren ein und derselbe Versuch angestellt? Nein, denn bei einem dieser Kaninchen ist die Sensibilität des Gesichtes unversehrt, bei dem anderen ist dagegen eine ganze Gesichtshälfte unempfindlich, weil ich bei dem ersten das siebente Paar, und bei dem anderen den Nervus trigemenus durchschnitten habe. Die Aehnlichkeit der Resultate hängt hier von dem sehr merkwürdigen physiologischen Umstande ab, dass zwei Nerven einen solchen Einfluss auf einander haben, dass der eine durch den Verlust[2]) seiner sensiblen Eigenschaften dem anderen seine motorische Fähigkeit raubt. Auf den ersten Blick scheint es sonderbar, dass die Paralyse der Gesichtsmuskeln bei dem Thiere, bei welchem das fünfte Paar durchschnitten ist, und bei dem, wo dasselbe noch unverletzt ist, dieselbe ist. Aber alles dieses, ich

1) S. 379.

2) Im Texte heisst es statt Verlust: Verlauf, was ein offenbarer Druckfehler ist.

wiederhole es, erklärt sich durch die Durchschneidung des fünften Paares. Durch die Durchschneidung dieses letzteren Nerven habe ich seine Sensibilität zerstört und überdies die einem anderen Nerven angehörende Bewegung, denn dieser letztere Nerv ist so abhängig, dass er nur dann wirken kann, wenn das fünfte Paar thätig ist. Diess ist ohne Zweifel eine sehr merkwürdige Thatsache; allein wir haben sie zu häufig beobachtet, als dass wir sie noch bezweifeln könnten." Indem Magendie von den Functionen des Nervus hypoglossus spricht, hebt er ausdrücklich hervor, dass er sich dem Trigeminus gegenüber anders verhält. „Es scheint nicht, als ob diess bei der Zunge derselbe Fall wäre. Der Hypoglossus, der deutlich der motorische Nerv ist, verliert durch die Durchschneidung des fünften Paares seine motorischen Eigenschaften nicht[1])."

Auch diese Versuche Magendie's sind von Pineles wiederholt und variirt worden. Hunde ergaben kein schlagendes Resultat. Aber dass bei Kaninchen die Bewegungen des Gesichtes, insbesondere auch der Lippen und der Nase (das Verhalten des Auges darf als allgemein bekannt vorausgesetzt werden), durch die Durchtrennung der Nervi infraorbitales geschädigt werden, sei es, dass dieselbe im Foramen infraorbitale oder in der Orbita geschehe, ist nicht zu bezweifeln, ja, wie Pineles beschrieb, ist auch nach einseitiger Durchtrennung dieser Einfluss sicher nachzuweisen. Er tritt auch bei den Schnupperbewegungen hervor, welche ähnlich wie die des Kehlkopfes unter normalen Verhältnissen beiderseits symmetrisch ausgeführt zu werden pflegen, so dass hier eine Analogie zu dem Versuche am Pferde vorliegt. Auch von der Intactheit der Zungenbewegungen nach Durchtrennung beider Nervi linguales haben wir uns bei einem Hunde überzeugt[2]).

Joh. Müller[3]), der die durch Bell und Magendie angeregte Frage nach der Functionsweise des Nervus infraorbitalis schon mit Hülfe der galvanischen Säule, und zwar mit einer solchen von 65 Plattenpaaren zu beantworten suchte, kam zu dem

1) l. c. S. 403.

2) Die Zunge erhält bekanntlich auch durch den Nervus hypoglossus sensorische Fasern.

3) Handbuch d. Physiol. 4. Aufl., Bd. I., S. 565.

richtigen Resultate, dass der genannte Nerv rein sensorisch ist, und die betreffenden Muskeln durchaus vom N. fascialis innervirt werden. Dabei leugnet er das thatsächliche Ergebniss des Bell-schen Versuches nicht. Er sagt vielmehr, von der anscheinenden Lähmung der Oberlippe im Bell'schen Versuche am Esel sprechend: „Diese Phänomene glaubt Mayo mit Recht aus dem Verlust des Gefühles in den Lippen zu erklären, denn das Thier fühlte das Futter nicht mehr, wenn es auch dasselbe ergreifen konnte." J. Müller hatte also den Sachverhalt richtig erkannt, aber in erster Linie mit der Frage nach der motorischen oder sensorischen Natur des Nerven beschäftigt, hat er sich um die näheren Ursachen und Umstände der Motilitätsstörung nicht gekümmert. Und so ging es offenbar allen späteren Physiologen auch.

Es war mir leider nicht möglich, die betreffende Abhandlung Mayo's zu erhalten [1]), und so muss ich nach J. Müller berichten, dass er den Bell'schen Versuch wiederholt, und nahezu dasselbe Resultat erhalten hat: „Mayo durchschnitt den Ramus infraorbitalis, worauf das Thier das Futter nicht mehr mit der Lippe ergriff und sich der Lippen nur beschwerlich beim Kauen bediente; aber es konnte die Lippen öffnen, was Bell geleugnet hatte." Es stimmt diese Schilderung vollkommen mit den von uns gemachten Beobachtungen.

Auch Schoeps [2]), ein Schüler J. Müller's, berichtet, allerdings ganz kurz, über einschlägige Erfahrungen. Die Folgen der Durchschneidung des Ramus infraorbitalis beim Kaninchen schildert er mit folgenden Worten:

„Die Bewegungen des Vorstreckens der Lippe, welche zur Function des Kauens gehören, hörten gänzlich auf. Eine achttägige Katze zeigte gleiche Wirkungen desselben Versuches, wesshalb ich die Wiederholung desselben für nutzlos hielt, da zumal die Beobachtungen von Bell, Shaw und Anderen mit den meinigen übereinstimmen."

Soviel ich ersehen konnte, hat, seitdem J. Müller im Jahre 1844 die angeführten Zeilen niedergeschrieben, die ganze Angelegenheit geruht bis zum Jahre 1886, in dem die oben angeführte Publication Filehne's erfolgte. Sie geht von folgender Beobachtung

---

1) Anatom. and physiolog. comment. London, 1822, pag. 107.

2) Meckel's Arch. f. Anat. u. Physiol. 1827, S. 409.

aus: „Durchschneidet man einem Kaninchen auf der einen Seite den Trigeminus intracraniell, so sieht man stets sofort den Ohrlöffel der operirten Seite zurückgefallen dem Nacken anliegen, gleichzeitig ist die Spitze nach der Medianlinie hin abgelenkt. Während der andere Ohrlöffel mehr oder weniger aufrecht gehalten und zeitweilig bewegt wird, erscheint der Löffel der operirten Seite gelähmt." Es wird dann weiter ausgeführt, dass die Lähmung nur eine scheinbare ist, dass das Ohr unter gewissen Verhältnissen aufgestellt wird, und dass man es hier mit dem Ausfalle des Muskeltonus in Folge des Schwindens von sensorischen Eindrücken zu thun habe. Vom Ausfalle der Lippenbewegungen u. dergl. ist nicht die Rede. Filehne fährt dann fort: „Die hier ausgesprochenen Auffassungen waren und sind der Physiologie fremd, und nach den heutigen Hand- und Lehrbüchern, sowie nach den neuen physiologischen Originalarbeiten zu urtheilen, welche über Reflextonus, Trigeminus, Facialis und derartiges handeln sind dem heutigen Stande dieser Wissenschaft auch die mitgetheilten Thatsachen vollständig neu. Indessen ..." Es folgt nun die Mittheilung von Magendie's Versuchen und eine werthvolle Anzahl von Krankengeschichten, verschiedenen Autoren angehörig, aus welchen hervorgeht, dass analoge Erscheinungen wie am Kaninchen, auch am Menschen, wenigstens bisweilen, zur Beobachtung kommen.

Da ich mich im Folgenden ausschliesslich mit den eigentlichen Bewegungen zu beschäftigen habe, so darf ich von den Untersuchungen über Muskeltonus und Reflextonus, wiewohl sie mit meinen Erscheinungen in gewisser Beziehung stehen, hier wohl absehen, und mich begnügen, auf den viel umstrittenen Versuch Brondgeest's zu verweisen.

Die Lehre, welche Magendie an seine Erfahrungsthatsachen knüpfte und welche dahin geht, dass der Nervus facialis, sowie er seine sensorischen Fasern vom N. trigeminus bezieht, auch von diesem und vielleicht durch diese seine Fähigkeit erhält, motorische Innervationen zu liefern, ist gewiss mit Recht vergessen; die Erfahrungsthatsachen selbst verdienten aber das Schicksal nicht. Begreiflich wird dasselbe allerdings, wenn man bedenkt, dass Bell und Magendie sich über die Function eines Nerven fast ausschliesslich dadurch Aufschluss verschafften, dass sie ihn kneipten und beobachteten, ob Schmerzensäusserungen oder Muskelzuckungen

erfolgten, und dass sie ihn dann durchschnitten und Lähmung oder Unempfindlichkeit vorfanden. Als später die elektrische Reizung allgemein wurde, legte man einen Nerven auf die Elektroden, zuckten dann Muskeln, so war er motorisch, zeigte das Thier Schmerz, so war er sensorisch; um die Erscheinungen nach der Durchschneidung, wenn es nicht etwa trophische waren, bekümmerte man sich nicht mehr viel, und so ist es wohl gekommen, dass die feinen und zutreffenden Beobachtungen der beiden genannten Forscher in Vergessenheit geriethen, umsomehr, als sich manche Lehre jener Zeit den neueren vollkommenen Untersuchungsmitteln gegenüber nicht mehr halten konnte. So hielt es auch Pineles für nöthig, neuerdings die Nerven, die zu seinen Versuchen dienten, auf elektrischem Wege zu prüfen, ob sie wirklich rein sensorisch sind, was sich als richtig erwies.

Dass die besprochenen Thatsachen aber wirklich trotz Ferrier und Filehne heute in Vergessenheit gerathen sind, darf man wohl sagen, wenn man die moderne Literatur, insbesondere die Lehrbücher durchsieht.

Trotzdem bin ich mir dessen bewusst, dass mancher der Leser die erwähnten Erscheinungen als sehr natürliche und selbstverständliche auffassen wird, und vermuthe, dass das insbesondere im Kreise der Neuropathologen der Fall sein dürfte, anderen dagegen mögen sie wohl ebenso überraschend sein, als sie es mir waren. Bei den letzteren also brauche ich mich nicht zu entschuldigen, wenn ich mich jetzt anschicke, eine Deutung derselben, oder der Sensomobilität überhaupt, so weit mir das möglich ist, zu geben, und die ersteren sind doch wohl in ihren Anschauungen noch nicht soweit einig, dass ihnen eine physiologische Beleuchtung der Frage überflüssig erscheinen müsste.

I. Die echte Reflexation, z. B. das Oeffnen des Pylorus auf den mechanischen Reiz der Magencontenta, oder die Pupillenverengerung auf Belichtung ist vom Organe des Bewusstseins in so hohem Grade unabhängig, dass sie nicht nur zu Stande kommt, wenn das Grosshirn entfernt ist, sondern dass wir auch im Vollbesitze desselben von dem Eintreten des Reflexes keine Nachricht in das Organ des Bewusstseins bekommen, und dass wir keine willkürliche Einwirkung auf den Ablauf desselben auszuüben vermögen. Bei

uns Menschen ist die Pupillenreaction immer eine doppelseitige, bei vielen Thieren aber betrifft sie nur das belichtete Auge, und wie Steinach[1]) in jüngster Zeit nachgewiesen hat, ist das bei allen Vögeln und bei einem grossen Theile der Säuger der Fall, z. B. auch beim Pferde. Es interessirt uns das mit Rücksicht auf die erwähnte einseitige Kehlkopflähmung beim Pferde, selbst für die den Reflexen nahestehenden Athembewegungen, und weil es sich dabei um Reflexvorgänge handelt, die bei Vertretern anderer Säugethierklassen doppelseitig sind. Wir haben es hier also zu thun mit einer Mobilität auf sensorische Eindrücke, von welchem ganzen Vorgang im ersten Beispiele gar nichts, im zweiten nur der sensorische Eindruck (als Lichtempfindung) zum Bewusstsein gelangen kann, aber nicht zum Bewusstsein gelangen muss.

Eine etwas höhere Stufe in der Reihe der Reflexe nimmt das Blinzeln ein, das auf tactile Erregung der Cornea oder der Cilien erfolgt. Auch dieses ist noch vom Organ dés Bewusstseins in so hohem Grade abhängig, dass es häufig sogar gegen die Willensintention erfolgt. Die Lokalität, an welcher der Reflexact stattfindet, ist uns bekannt, denn er erfolgt noch, wenn man das ganze Grosshirn einerseits, und wenn man das Rückenmark bis zum Calamus scriptorius andererseits abgetragen hat. Offenbar handelt es sich hauptsächlich um den sensorischen Trigeminus- und den motorischen Facialiskern, sammt ihren centralen Verbindungen. Einer dieser Kerne oder beide werden in ihrer Functionsweise durch Hirnschenkelbahnen beeinflusst, wenn wir den Reflexact zu unterdrücken suchen; dabei fungiren beim Menschen immer beide Kerne des Nervus facialis zugleich, es mag das eine oder das andere Auge mechanisch gereizt werden; ich erwähne das, denn bei Thieren beobachten wir, dass diese Reflexbewegung einseitig sein kann. Kaninchen, Katzen etc. blinzeln nur mit dem berührten Auge, ein Zeichen, dass die motorischen Nervenkerne beider Seiten auch bei diesem Reflexe unabhängig von einander zu fungiren vermögen, und dass in dem Grade der Unabhängigkeit auch in der Reihe der Säugethiere recht bedeutende Differenzen vorkommen.

Dieser Reflexact steht aber nicht nur dadurch höher, dass er vom Organe des Bewusstseins beeinflusst werden kann, sondern

---

1) Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 47, S. 289.

auch dadurch, dass er selbst das Organ des Bewusstseins beeinflusst. Der erfolgte Reflex schafft uns tactile Eindrücke von Seite der Lider, vielleicht auch der Cornea und der Muskeln. Es kommt uns also nicht nur die auslösende Empfindung — wie beim Pupillenreflex — sondern auch die Empfindung der erfolgten Bewegung zum Bewusstsein.

Ein weiterer Schritt führt uns, indem wir eine grosse Zahl anderer Reflexe bei Seite liegen lassen, zu den sogenannten Sehnenreflexen. Die plötzliche Ueberdehnung eines Gelenkes oder die ruckartige Zerrung einer Sehne, der Stoss auf einen Knochen u. s. w. ruft in gewissen Muskelgruppen Reflexzuckungen hervor, die sich unter gewissen Umständen in sehr kurzen Intervallen wiederholen und sich dadurch dem Character eines Tetanus nähern können. Der Ort der Reflexion ist hier das Rückenmark. Zum Bewusstsein kommt uns normaler Weise der auslösende sensorische Eindruck und die Empfindung der ausgelösten Bewegung. In diesen Beziehungen also verhält sich dieser Reflex so, wie das Blinzeln. Er unterscheidet sich von diesem aber durch einen Umstand, der erst ersichtlich wird, wenn man seine Bedeutung als zweckmässigen Reflexmechanismus im Leben ins Auge fasst. Wer viel auf Bergen, insbesondere in unseren geröllreichen Kalkalpen herumgestiegen ist, der hat wiederholt Gelegenheit gehabt, den Werth dieser sogenannten Sehnenreflexe an sich zu erfahren. Geht man einen steinigen Pfad hinan und hat durch irgend ein Interesse abgezogen die instinctive Beobachtung des Weges — ich spreche natürlich nicht von einem gebahnten Weg — ausser Acht gelassen, so kann es wohl geschehen, dass wir den Fuss flach aufsetzen, als wäre eine Steinplatte zu betreten, während wir thatsächlich einen Stein unter unseren Zehen, unter der Ferse aber nichts haben. Geschieht dieser Schritt mit einiger Hast, so wird der Fuss mit seinem vorderen Ende stark nach oben gebogen, nimmt dann genau die Stellung ein, welche die Kliniker künstlich erzeugen, um den Reflex hervorzurufen, und in der That tritt auch hier die Reflexzuckung ein und stellt sofort unseren Fuss unter Hebung der Ferse und des Unterschenkels in eine normale Stellung, indem zugleich das Sprunggelenk durch Muskelaction festgestellt und dadurch die Gelenksbänder vor Ueberdehnung bewahrt werden. Im nächsten Momente sind wir uns dessen bewusst, dass wir in Gefahr waren, den Fuss zu „übertreten". Auch

wenn unser Fuss durch einen „Fehltritt“ aussen oder innen stark gehoben wird, tritt eine analoge reflectorische Feststellung des Gelenkes ein, welche schon vorhanden ist, ehe der Schritt vollendet wurde.

Ich führe diess hier an, weil es in der Stufenleiter der Sensomobilitäts-Erscheinungen, die wir zu besprechen im Begriffe sind, den ersten Fall bildet, in welchem die Willkürbewegung (der Schritt) durch sensorische Eindrücke (Sehnenzerrung) eine Regulirung erfährt. Die thatsächlich ausgeführten Actionen der Fussmuskeln sind, wie man sieht, andere, als wenn die sensorischen Impulse nicht vorhanden gewesen wären. Diese Regulirung geschieht aber rein reflectorisch.

Denken wir uns einen Menschen, dessen periphere sensorische Organe, durch die der centripetale Impuls der „Sehnenreflexe“ vermittelt wird, functionsunfähig sind, so wird dieser in seiner Bewegungsfähigkeit wenigstens auf Bergen gelitten haben, und wir würden hier zum erstenmale eine Störung der Mobilität bei bewusst ausgeführten Bewegungen wegen peripherer Sensibilitätsstörung vor uns haben.

Ich glaube, es wird Niemand, der seine Aufmerksamkeit diesen Verhältnissen zugewendet hat, daran zweifeln, dass diese „Sehnenreflexe“ nur eine besonders prägnante Form der unbewussten Regulirung unserer Gehbewegungen ist, dass vielmehr eine sehr ausgiebige derartige Regulirung existirt, wenn sie auch nicht durchaus unter den strengen Begriff der Reflexbewegung fällt. Machen doch selbst Säugethiere, nachdem ihnen der Kopf abgeschlagen wurde, noch regelrechte Laufbewegungen, d. h. es ist bei ihnen der ganze Rhythmus und die Reihenfolge, in welcher die sämmtlichen Muskeln der Extremitäten in Action treten, im Rückenmarke vorgebildet. So müssen wir vermuthen, dass gewisse Coordinationen, und ausser den genannten noch andere Regulationen durch die sensorischen Impulse auch beim Menschen im Rückenmarke geschehen. Ist das doch offenbar die Bedeutung der anatomisch längst bekannten „kurzen Bahnen“ desselben und weist ihre Entartung in den Hintersträngen mit ihren Symptomen des Tabes dorsualis deutlich genug darauf hin. Die Gehirnrinde mit ihren Willkürimpulsen käme wohl immer zu spät, wenn Jemandem bei einem Schritt das Knie einknickt, wenn er im Schwimmen unter Wasser an einen Stein anstösst u. dergl. Man be-

denke, dass z. B. im letzteren Falle die sogenannte Reflexzuckung, welche das Bein von dem Stein entfernt, für jede Hautstelle die Action einer anderen Muskelgruppe oder die Action derselben Muskeln in anderen Intensitätsgraden erfordert, und dass demnach schon diese einfachste Regulirung einen recht complicirten Reflexmechanismus voraussetzt.

Doch kommen bei den Locomotionsbewegungen noch andere Regulirungen in Betracht, welche nicht mehr in dem Grade dem Organe des Bewusstseins entzogen sind, wie das bei den geschilderten der Fall ist. Ich komme zu diesen alsbald wieder zurück.

Der abgegebene willkürliche Bewegungsimpuls zu einem Schritt also kann unter verschiedenen Verhältnissen verschiedene Bewegungscombinationen einleiten, indem reflectorische Regulirungen je nach den tactilen Eindrücken, die während des Schrittes erfolgen, die eine oder die andere Wirkung haben. Wegen Störung in dem sensorischen Theile dieser Regulirung können Störungen der Mobilität auftreten.

Ein anderes Beispiel derselben Art subcorticaler Regulirung: wenn wir willkürlich den Kopf zur Seite neigen, so sind nebst den Nackenmuskeln auch die M. M. obliqui der Augen in Action, welche eine compensirende Raddrehung des Bulbus ausführen. Die Innervation dieser Muskeln geschieht rein reflectorisch, wobei der Vestibularapparat des Ohrlabyrinthes die centripetalen Impulse liefert. Also wieder eine rein reflectorische Ergänzung zu dem Effect unserer willkürlich gesetzten Bewegung. Würde der Vestibularapparat nicht fungiren, so fiele ein Theil der Muskelactionen, die beim normalen Menschen auf den Willensimpuls zur Kopfneigung eintreten, weg, es wäre also eine Störung der Mobilität eingetreten.

Eine eigenthümliche Modification dieser Art von Sensomobilitätsstörungen besteht in Folgendem: Den Klinikern ist es bekannt, und ich habe den Versuch an mir nachgemacht, dass die Einpinselung der Mund- und Rachenhöhle mit Cocain das Schlucken unmöglich macht. Das Schlucken wird eingeleitet durch einen Willküract, und den kann man auch nach der Einpinselung noch vornehmen. An diese Einleitung aber schliesst sich ein Reflexact, dessen sensorischer Theil mit den Empfindungen beginnt, welche der willkürlich an die Zungenwurzel gebrachte Bissen daselbst verursacht. Fallen in Folge der Giftwirkung diese Empfindungen

weg, dann läuft auch der Reflex nicht ab und man kann den Bissen nicht verschlucken. Ich führe das hier an, weil es sich auch um eine lähmungsartige Erscheinung in Folge von Sensibilitätsstörung handelt, und zwar ist es die regelmässige Succession von Innervationen, welche gestört, und damit der ganze Act, welcher unmöglich geworden ist.

Mit den letztgenannten Beispielen sind wir in das Bereich von Bewegungscombinationen eingetreten, bei denen der Wille schon eine Rolle spielt, indem der willkürliche Bewegungsimpuls das ganze Spiel subcorticaler sensorischer Regulirungen einleitete.

II. Wir gehen wieder einen Schritt weiter aufwärts und gelangen dadurch in ein Gebiet, das wohl besser nicht mehr zu dem der Reflexbewegungen gerechnet wird. Man würde zweckmässiger es das der instinctiven Bewegungen nennen, da es von dem der eigentlichsten Willkürbewegungen noch weit entfernt ist. Ich wähle wieder einige Beispiele zur Erläuterung der hier vorkommenden Sensomobilität.

Ein Tasteindruck gegebener Art kann uns unter gewissen Verhältnissen gleichgültig lassen, er kann keinerlei Reflex hervorrufen, ja unserer Aufmerksamkeit sogar ganz entgehen, während genau derselbe Tasteindruck in der Genitalsphäre mächtige Reflexe auszulösen vermag, wenn unsere Aufmerksamkeit demselben zugelenkt ist, er sich in der Hirnrinde mit gewissen Vorstellungen associirt, der Zusammenhang dieser Tastempfindung mit Phantasiebildern erkannt, kurz ein besonderes Spiel der Vorstellungen im Organ des Bewusstseins Platz gegriffen hat.

Ein anderes Beispiel lässt uns einen etwas tieferen Einblick in den Mechanismus dieser Vorgänge machen: Erregt ein Gegenstand im Gesichtsfelde unsere Aufmerksamkeit, so blicken wir nach ihm, d. h. wir verleihen durch Innervationen unseren zwölf äusseren Augenmuskeln jenen Grad der Spannung, der bewirkt, dass die beiden Gesichtslinien nach dem Objecte convergiren. Wird nun aber eine Cornea durch Läsionen undurchsichtig, so dauert es nicht lange, dass unter denselben Verhältnissen nur die Gesichtslinie des gesunden Auges nach dem Objecte gerichtet wird, die des kranken Auges weicht von der normalen Richtung ab; das sehuntüchtige Auge schielt, wie allgemein bekannt. Zu dem Zustandekommen dieser Bewegungsinnervation waren also die sen-

sorischen Eindrücke dieses Auges, und zwar die Eindrücke der Netzhaut, nothwendig. Ja, es ist bekannt, dass schon Sehschwäche ausreicht, die correcte Coordination der Augenbewegungen unmöglich zu machen, und doch rechnet man die Convergenz der Gesichtslinien gewöhnlich zu den Effecten willkürlicher Muskelactionen. Wir haben es also auch hier wieder mit einer lähmungsartigen Erscheinung (nicht einer wahren Lähmung) zu thun in Folge des Ausfalls sensorischer Eindrücke, einer typischen Sensomobilitätsstörung.

Diese Erfahrung lässt sich zu einem einfachen und lehrreichen Experimente verwerthen, das übrigens allgemein bekannt sein dürfte. Schliesst man die Augen, hält sich einige Decimeter vor sein Gesicht einen senkrecht gestellten Bleistift und bemüht sich die Convergenzstellung für denselben zu finden, da ja die Entfernung des selbstgehaltenen Objectes vollkommen bekannt ist, so gelingt das nicht, wie man sogleich bemerkt, wenn man die Augen aufschlägt. Da sieht man dann den Stift in Doppelbildern, welche allerdings sofort und sehr schnell gegen einander rücken und verschmelzen. Man kann statt des Stiftes auch den eigenen Finger nehmen und sich so noch prägnanter davon überzeugen, dass, wenn wir den Ort, nach welchem convergirt werden soll, auch so genau kennen, als das nur möglich ist, wir doch nicht im Stande sind, ohne Hülfe der Netzhauterregung die Innervationsgrade auch nur annähernd zu finden.

Doch habe ich dieses Beispiel gewählt, weil aus ihm noch eine weitere für uns wichtige Thatsache hervorgeht. Man wiederhole den genannten Versuch mit zwei in verschiedener Entfernung vor unseren Augen gehaltenen Fingern und bemühe sich die Convergenzstellung für den ferneren Finger bei geschlossenen Augen zu finden, so wird bei der Oeffnung derselben das Paar Doppelbilder, welches diesem Finger angehört, alsbald zu einem Bilde verschmelzen; hat man aber seine Aufmerksamkeit dem nahen Finger zugewendet, so verschmelzen dessen Doppelbilder, sobald man die Augen aufschlägt, während die des anderen Fingers bestehen bleiben. Es ist selbstverständlich auch dieser Versuch Jedermann geläufig; dass ich ihn hier anführte, hat nur den Grund, dass er die Thatsache, um die mir zu thun ist, deutlich und rein zu Tage treten lässt.

Unser mit Ueberlegung gesetzter Willensimpuls nämlich war nicht im Stande, die richtigen Innervationen zu treffen, es bedurfte

dazu der Netzhauteindrücke, welche dann, ohne dass ein neuer bewusster Willensimpuls gesetzt wurde, also durch subcorticale Regulirung das richtige Maass der Muskelactionen vermittelten. Dieses richtige Maass aber war ein anderes, je nachdem unser Interesse dem nahen oder dem fernen Finger zugewendet war. Das Interesse, oder besser gesagt, unsere Aufmerksamkeit, hat also bestimmend auf die subcorticale Regulirung gewirkt, und das ist es, wodurch sich dieses Beispiel von den vorhergehenden bedeutungsvoll unterscheidet.

Ich muss hier daran erinnern, dass ich schon vor vielen Jahren die Wirkung der willkürlich auf Sinnesobjecte oder Bewegungen gerichteten Aufmerksamkeit mit den Leistungen eines Weichenstellers an einem Schienennetz verglichen habe[1]). Bei Gelegenheit meiner Versuche über Reactionszeit ergab sich, dass man sich das möglich rascheste Zustandekommen z. B. einer Reactionsbewegung mit der rechten Hand nach dem Aufblitzen eines elektrischen Funkens nur folgendermaassen vorstellen kann: die dem Funken und der rechten Hand zugewendete Aufmerksamkeit combinirt mit der Intention zu reagiren, bilden einen willkürlich, d. h. vom Organ des Bewusstseins ausgehenden Impuls, der in gewissen Centren oder Bahnen, welche selbst ausserhalb des Organes des Bewusstseins gelegen sind, einen Erregbarkeitszustand herstellt, der selbst bewirkt, dass im Momente des Gesichtsreizes die Handbewegung eintritt. Es bedarf keines neuen Willensactes mehr, willkürlich war nur die Erzeugung jenes subcorticalen Zustandes. Es ist hier nicht der Ort nochmals darzulegen, wodurch diese Anschauung begründet ist, es genügt zu erwähnen, dass Andere, geleitet durch Erfahrungen bei ähnlichen Versuchen, zu derselben Anschauung kamen, und dass es mir gelungen ist, das Grundphänomen, nämlich die Erleichterung des subcorticalen Umsatzes einer sensorischen Erregung in eine motorische durch Erregungen von der Hirnrinde aus experimentell am Thiere zu demonstriren (Bahnung).

Es ist nun klar, dass wenn bei dem Reactionsversuche die Aufgabe gestellt wäre, nicht auf den optischen Reiz, sondern auf einen tactilen Reiz, der die linke Hand oder den linken Fuss trifft, mit der rechten Hand zu reagiren, dann der durch die will-

1) S. Hermann's Handb. d. Physiologie, Bd. II, 2., S. 285.

kürlich gelenkte Aufmerksamkeit erzeugte subcorticale Zustand ein anderer sein müsste, ein änderer in Bezug auf die sensorischen Centren, denn die Muskelaction blieb ja dieselbe.

Analoge Thatsachen liessen sich betreffs der Concurrenz zweier Sinneseindrücke und deren Beeinflussung durch die Aufmerksamkeit nachweisen[1]).

Es steht also in vollem Einklange mit anderweitigen Erfahrungen, wenn wir von Seite des Sensoriums nicht nur eine Beeinflussung der motorischen subcorticalen Centren annehmen, sondern auch eine solche der sensorischen, ja ich würde es für sehr vortheilhaft halten, wenn die jüngst von Meynert[2]) ausgegangene Anregung, im Inneren der Hirnrinde nicht zwischen motorisch und sensorisch zu unterscheiden, auf alle inneren Vorgänge im Centralnervensystem ausgedehnt würde. Ist doch niemals der Nachweis erbracht worden, dass die sogenannten sensorischen Bahnen z. B. der Hirnschenkel nur centripetale Impulse leiten, und sprechen die genannten Thatsachen und noch manche andere doch laut gegen eine solche Annahme. Im Innern des Centralnervensystems giebt es eben nur Ruhe und Erregungen, welche letztere, indem sie zu den Muskelnerven gelangen, motorische Wirkungen erzielen, soferne sie aber der Hirnrinde zufliessen, bewusste Empfindungen veranlassen. Könnte Jemand sagen, bis zu welchem Punkte in den verwickelten Bahnen des Centralnervensystems er eine von der Peripherie kommende Erregung noch sensorisch und von wo an er sie motorisch nennt, wenn sie eine Muskelaction zur Folge hat?

Kehren wir zu unserem Beispiele von den Augenbewegungen zurück und halten fest, dass nicht ein willkürlicher Bewegungsimpuls im Stande ist, die richtigen Muskelcontractionen zu erzielen, sondern dass hierzu die subcorticale Verwerthung von Sinneseindrücken nöthig ist, welche subcorticale Verarbeitung aber selbst wieder abhängig ist von der durch den Willen lenkbaren Aufmerksamkeit.

Diese Form der Sensomobilität nun ist es, die für alle jene Bewegungsformen gilt, die ich die instinctiven nennen möchte. Es

1) Sigm. Exner, Unters. ü. d. einfachsten psychischen Processe. Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys., XI., S. 581,

2) Das Zusammenwirken der Gehirntheile. Rede. Verhandlg. d. X. internat. med. Congresses, 1890.

gehören hierher Augenbewegungen, gewisse Antheile der Locomotionsbewegungen, Bewegungen unserer Mundtheile beim Essen, manche Gesichtsbewegungen u. s. w. und es gehören hierher die meisten der Bewegungen, deren Ausfall nach Durchtrennung der sensorischen Nerven den Ausgangspunkt dieser Betrachtungen bildete.

Ein Pferd, ein Kaninchen, dessen Oberlippe unempfindlich gemacht ist, entbehrt jeder subcorticalen Regulirung der intendirten Bewegungsimpulse, so dass die Bewegungen jedenfalls ungeschickt ausfallen müssten; es entbehrt aber a u c h der Beeinflussung der subcorticalen Centren durch die den Sinneseindrücken zugewendete Aufmerksamkeit, da solche Sinneseindrücke nicht mehr existiren. Der bewusste Bewegungsimpuls als solcher ist nicht im Stande, diese beiden Schäden zu ersetzen, wenn er auch thatsächlich noch einzelne ungeschickte Bewegungen erzeugt, so wenig wie der an Sehnervenatrophie Erblindete je wieder lebhafte Augenbewegungen zeigen wird, obwohl sein ganzer motorischer Apparat intact ist. Wenn er auch Augenbewegungen ausführt, sein Blick verliert die bekannte Starrheit und Leblosigkeit nicht wieder. Ganz ebenso, glaube ich, haben wir die Sensomobilitätsstörungen an jenen Thieren zu deuten; der Grad der Lähmungserscheinungen stimmt vollkommen, damit überein.

Indem das Pferd durch einen Willkürimpuls die Lippen in den Futterkorb bringt, war es gewohnt durch die empfindlichen Tasthaare Sinneseindrücke zu erhalten, auf die es dann, unter denselben wählend, seine Aufmerksamkeit lenkte. Dadurch wurden wie beim Menschen durch das unser Interesse erweckende Netzhautbild in subcorticalen Centren Erregbarkeitszsstände hergestellt, welche zur Auslösung von gerade diesen oder gerade jenen Muskelactionen führten. Die Lippe bewegte sich nach rechts oder nach links, spitzte sich oder flachte sich ab, bewegte sich lebhaft oder vorsichtig nach dem Spiele der Aufmerksamkeit. Doch waren alle diese ganz oder theilweise nach der Operation, weggefallenen Bewegungen keine Reflexbewegungen im strengen Sinne, sonst müssten sie beim gesunden Pferde auch auftreten, wenn es mit der Lippe an einem Pfahl vorbeistreift, und es waren keine Willkürbewegungen im gewöhnlichen Sinne des Wortes, sonst müssten sie auch auftreten, wenn das Thier das Stück Brod sieht, riecht und mit der Schnauze darnach fahrend, die unzweifelhafte Absicht verräth, es zu fressen.

Ich möchte diese Form der sensorischen Regulirung von Bewegungen die Intentionsregulirung nennen, denn sie tritt subcortical nur auf, wenn eine Intention zu den betreffenden Bewegungscombinationen vom Sensorium ausgeht, und wird in ihrer Form von der Intention d. h. von dem Spiele der Aufmerksamkeit vollkommen beherrscht.

Wir können uns den Zustand eines solchen Thieres etwa noch durch folgendes Beispiel anschaulicher machen. Wenn uns Wind und Wetter entgegenweht, so pflegen wir das Gesicht „instinctiv" so zu verzerren, dass die Augen mehr geschützt werden, etc. Haben ja doch daher Militärs oder Matrosen ihr faltenreiches „verwettertes" Gesicht. Denken wir die sämmtlichen in Betracht kommenden Empfindungen bei einem Matrosen geschwunden, so wird er (die Erhaltung seiner Gesundheit vorausgesetzt) wohl der einzige auf dem Schiffe sein, der stets ein glattes Gesicht zeigt. Und, wenn die Sensibilität nur einseitig fehlte, so würde er wahrscheinlich mit der gesunden Gesichtshälfte allein die normalen Verzerrungen ausführen. Er würde dann einem Falle von einseitiger motorischer Lähmung ziemlich ähnlich sehen, ja es ist nicht ausgeschlossen, dass im jahrelangen Dienste die Muskeln der kranken Seite schwächer würden als die der gesunden, dass eine Degeneration eintrete. Und doch wird Niemand behaupten, dass jenes Zwinkern und Falten der Gesichtshaut eine reine Reflexbewegung sei. Sollte aber, was nach den Erfahrungen an Trigeminuskranken nicht wahrscheinlich ist, der Matrose trotz einseitiger Empfindungslosigkeit doch dauernd mit beiden Gesichtshälften jene instinctiven Bewegungen machen, so ginge daraus nur hervor, dass beim Menschen eben die beiden Facialiskerne in einem innigeren physiologischen Zusammenhang stehen, als bei jenen Thieren. Beim Pferde treten, wie wir sahen, sogar im Kehlkopf einseitige Störungen der Sensomobilität auf, d. h. es verhalten sich bei diesem Thiere auch die Stimmbandbewegungen wie instinctive Bewegungen. So wunderbar wird das nicht erscheinen, wenn man bedenkt, dass das Pferd ein exquisites Laufthier ist, gelegentlich mit der Geschwindigkeit eines Orcanes die Luft durchschneidet, und dann ähnliche schützende Muskelactionen wie der Matrose für sein Auge, für seine Lunge ausführen muss, woran sich ausser den Nüstern auch die Glottis betheiligen mag.

Soviel über die Störungen dieser Instinctbewegungen durch den Ausfall der Intentionsregulirung.

III. Wieder eine Stufe höher treffen wir Bewegungsformen, bei denen die subcorticale Regulirung schon in den Hintergrund tritt, gegenüber der Beeinflussung der niedrigeren Centren durch die sinnliche Aufmerksamkeit. Die Rolle welche diese letztere, und insbesondere welche die Bewusstheit der Sinneseindrücke spielt, tritt mehr hervor. Wenn z. B. beim Schreiten, in der Phase der Streckung des Standbeines im Sprungelenk an der Haut des inneren Fussrandes kein nennenswerther Widerstand empfunden wird, so wird der Fuss (obwohl kein „Fussreflex" eintritt) doch correct gehoben ohne umzukippen, weil eine subcorticale Regulirung eintritt, welche auch durch die Aufmerksamkeit beeinflusst werden kann und demnach wohl zur Gruppe der Instinctbewegungen zu rechnen ist. Wenn man aber die Aufgabe ausführt, auf einer schmalen Leiste zu gehen ohne herunterzufallen, oder einen Tanzschritt einzuüben, so sind natürlich alle subcorticalen Regulirungen auch in Thätigkeit, dazu kommt aber noch die bewusste Regulirung durch die Sinneseindrücke, wie sich z. B. aus dem Bedürfnisse ergiebt, dabei die Füsse anzublicken. Man pflegt derartige Bewegungscombinationen schon zu den willkürlichen zu rechnen, obwohl sie unter gewissen Verhältnissen auch wenigstens zum Theile dem Bewusstsein entrückt sind. Jedenfalls aber spielt sich der wesentliche Theil der Regulirung, die hier noch dazukommt, in der Hirnrinde ab, so dass ich diese Form derselben als corticale Regulirung bezeichnen möchte.

Wenn wir z. B. in einem sonst vollkommen dunklen Zimmer mehreremale fehltreten, ehe es uns gelingt, ein glimmendes Zündhölzchen auszutreten, so ist die Ursache dieser Störung (um mich des alten Ausdruckes auch hier noch zu bedienen) das Wegfallen des Gesichtseindruckes, und das Beispiel zeigt, dass wir ohne bewussten Sinneseindruck nicht wissen, ob wir eine Beinbewegung nach rechts oder nach links intendiren sollen. Es zeigt aber weiterhin, dass wir bei normalem Gebrauche unserer Augen, die Bewegungsintention nach der relativen Lage von Zündhölzchen und Bein, die wir beide sehen, einrichten, was uns in der Regel durchaus nicht bewusst, oder doch nicht klar bewusst ist.

Der Ausfall dieser mehr oder weniger bewussten Regulirung

mit Hülfe unserer Sinnesorgane macht natürlich auch Störungen der Sensomobilität. Dieselben sind uns sehr geläufig, die tappenden Bewegungen jedes Blinden geben Zeugnis davon. Sie treten aber in überraschender Form hervor, wenn die subcorticale Regulirung, sowie die bewusste Regulirung durch andere Sinnesgebiete (tactile Empfindungen der Haut, Sehnen, Gelenke etc.) ausgeschlossen sind. Es ist eine Reihe von Krankheitsfällen bekannt, in denen wegen ausgedehnter Anästhesie die Patienten nur dann die Faust ballen, den Arm heben, einen Gegenstand halten konnten, wenn sie ihre Muskelactionen mit den Augen controllirten; sobald sie die Augen schlossen, verhielten sie sich wie gelähmt. Diese scheinbare Lähmung, welche zu den übrigen Krankheitssymptomen also mit dem Augenschliessen noch hinzukam, entspräche der in Rede stehenden Form von Sensomobilitätsstörung und unterscheidet sich von der lähmungsartigen Erscheinung, welche das schielende blinde Auge zeigt, durch die Bewusstheit der ausgefallenen Regulirung. (Vgl. die Fälle von Strümpell, Heyne, v. Ziemssen u. A.)

Wir streifen hier das Gebiet jener bewussten Bewegungsvorstellungen und Richtungsvorstellungen, welche schon vielfach Gegenstand psychologischer Forschung waren, und die, gewiss mit Recht, von manchen Autoren als der Ausdruck eines Zustandes des Centralnervensystemes betrachtet werden, der in hohem Grade verwandt ist mit dem Zustande, welcher die betreffende Bewegung selbst veranlasst. Doch ist hier nicht der Ort, näher auf diesen Punkt einzugehen, ich erinnere nur an den Zusammenhang einer Willkürbewegung mit der Vorstellung dieser Bewegung, wie er in den Lehren von Ferrier, Meynert, Münsterberg, Munk, Stricker u. A. zum Ausdrucke kommt.

Es handelt sich aber hierbei nicht nur um die Vorstellung der Bewegung, sofern die Vorstellung Gesichtsvorstellung ist, sondern die corticale Bewegungsregulirung geschieht durch die bewusste Controlle der Sinnesorgane überhaupt. Von unseren Sprachbewegungen haben wir keine Gesichtsvorstellungen, hier geschieht die Regulirung durch das Gehör. Das Kind lernt sprechen, indem es an den willkürlich abgegebenen Bewegungsimpulsen so lange ändert, bis der erzeugte Gehörseindruck dem gleich wird, welchen es durch die Sprache anderer Menschen zu empfangen gewohnt ist. Dem Taubgeborenen fehlt diese höchste Form corticaler Re-

gulirung, seine Stummheit ist eine Sensomobilitätsstörung, begründet im Ausfalle von Functionen, die im Organe des Bewusstseins ablaufen sollten, und wenn der Taubstumme mühsam die Lautsprache erlernt, so geschieht es dadurch, dass ihn systematisch die Tasteindrücke der Sprachorgane gelehrt werden, welche dann die acustischen Eindrücke in der Regulirung zu ersetzen vermögen. Er spricht dann auf Grund eines Mechanismus, der sehr ähnlich ist jenem, durch welchen es uns leicht wird, Speisenreste u. dergl. mit der Zunge aus Zahnspalten oder Lücken zu entfernen, obwohl wir gewöhnlich in Verlegenheit wären, anzugeben, welche Bewegung dabei unsere Zungenspitze macht, ja sogar wo die Zahnlücke liegt, nach der wir tasten. Wohl aber erkennen wir immer wieder jene Tasteindrücke, unter deren Begleitung wir in früheren Fällen zu unserem Ziele gelangt sind, und diese dienen uns auch jetzt zur Regulirung der Willensimpulse.

Ich fasse zusammen:

Die Bewegungen des thierischen Körpers werden in hohem Grade beeinflusst durch sensorische Impulse. Diese Beeinflussung geschieht durch Vorgänge im Centralnervensystem, welche theils subcorticalen, theils corticalen Sitz haben.

Die unterste Stufe bilden die echten Reflexe (z. B. im Darmtract), von denen weder die centripetale Phase noch der Effect der centrifugalen Phase Nachrichten zum Organ des Bewusstseins schicken; oder es gelangt der centripetale Reiz (Pupillenreation) oder dieser und der Eindruck der erfolgten Bewegung (Blinzeln) zur Hirnrinde. Im letzten Falle tritt zu dieser subcorticalen Wechselwirkung eine Beeinflussung durch den Cortex hinzu (Hemmung des Blinzelns), indem diese subcorticale Regulirung willkürlich modificirt werden kann. Ein gesetzter Willensimpuls kann durch subcorticale Regulirungen modificirt und den Verhältnissen angepasst werden (Schritt mit Sehnenreflex).

Die subcorticale Regulirung verliert die Selbständigkeit des echten Reflexes und wird abhängig von dem Spiele der Aufmerksamkeit; es tritt die Intentionsregulirung der instinctiven Bewegungen auf Grund sensorischer Rindeneindrücke ein (Fixiren, Fressbewegungen des Pferdes etc.), wobei der Willkürimpuls die

subcorticale Regulirung nicht zu ersetzen vermag. Die Aufmerksamkeit bewirkt die temporäre Installirung eines subcorticalen Reflexapparates, der dem intendirten Zwecke dient.

Die bewusste Bewegung ruft bewusste Empfindungen hervor. Letztere sind unentbehrlich zur correcten Ausführung der ersteren und dienen somit zur corticalen Regulirung (Sprache).

Störungen der Sensibilität erzeugen je nach der Art der Bewegungen Störungen der Mobilität, die auf den Ausfall einer oder mehrerer der genannten Regulirungen beruhen. Eine scharfe Grenze zwischen den verschiedenen Formen der Sensomobilität giebt es nicht.

Ueber die Bestimmung freier Salzsäure neben sauren Phosphaten mittels Calciumcarbonat.

Von

Dr. **C. Friedheim**, Privatdocent u. 1. Assistent am II. chem. Institut in Berlin.

und

Dr. **H. Leo**, a. o. Professor der Medicin in Bonn.

Der Eine von uns hat früher[1]) eine Methode zur Bestimmung von freier Salzsäure neben sauren Phosphaten angegeben, deren chemische Grundlage die folgende ist:

Freie Salzsäure wird nach dem Schütteln mit pulverförmigem Calciumcarbonat und Austreiben der Kohlensäure neutralisirt, die Acidität saurer Phosphate, deren Zusammensetzung der Formel RH_2PO_4 entspricht, dagegen bei gleicher Behandlung nicht geändert. Titrirt man also ein Gemenge beider Körper einestheils vor und andererseits nach der Behandlung mit Calciumcarbonat, so muss sich daraus der Gehalt an beiden berechnen lassen. Zu dem Zweck sollte wie folgt verfahren werden: Das in Lösung befindliche Gemisch von saurem Phosphat und freier Säure wird mit pulverförmigem Calciumcarbonat in der Kälte unter Umrühren behandelt, filtirt, ein bestimmtes Volum abgemessen, die gelöste Kohlensäure durch Einleiten von Luft entfernt und nach Zusatz von $CaCl_2$ und Phenolphtalein als Indicator die Titration mit $^1/_{10}$ Normalalkali wiederholt. Während vor Zusatz des Calciumcarbonats die Gesammtacidität im Sinne der beiden folgenden Gleichungen ermittelt wurde:

$$HCl + NaOH = NaCl + H_2O$$

$$\text{und } RH_2PO_4 + NaOH = RNaHPO_4 + H_2O,$$

tritt nach der Behandlung mit dem Carbonat, in Folge des durch Neutralisation der HCl gebildeten resp. im Ueberschuss zugefügten $CaCl_2$, nur die Umsetzung ein:

---

1) Centralblatt für die medicin. Wissenschaften 1889, Nr. 26 und Leo, Diagnostik der Krankheiten der Verdauungsorgane. Berlin 1890, S. 114, ferner S. 91 und 98.

$$2RH_2PO_4 + 4NaOH + 3CaCl_2 = Ca_3P_2O_8 + 2RCl + 4NaCl + 4H_2O,$$

für die gleiche Menge Phosphat wird also jetzt die doppelte Menge Basis gebraucht: die Anzahl der gebrauchten ccm durch zwei dividirt ergiebt also die Menge des vorhandenen Phosphats und durch Subtraction von der Gesammtmenge des verbrauchten Alkalis erfährt man die Menge der ursprünglich vorhanden gewesenen Chlorwasserstoffsäure. Für Flüssigkeiten, welche wie der Mageninhalt ausser freier Säure und sauren Phosphaten noch andere mit Natronlauge in Reaction tretende Verbindungen enthalten, bedarf die Methode, wie früher mitgetheilt, einer Modification: Man bestimmt hierbei die Acidität der Flüssigkeit von vornherein unter Zufügung von $CaCl_2$ und subtrahirt von dem erhaltenen Werth die nach Behandeln mit $CaCO_3$ gefundene Acidität. Die Differenz ergiebt die der freien Säure entsprechende Acidität.

Gegen die Richtigkeit der theoretischen Grundlage der Methode sind von Alb. Hoffmann und A. Wagner gemeinschaftlich [1]) Bedenken erhoben worden; sie behaupten, unter Anwendung derselben einen Verlust an Säure von 31,34 % erhalten zu haben, und auch eine kurze frühere Notiz von Meyer [2]) bezweifelt die Zuverlässigkeit derselben.

Bereits in einer vorläufigen Mittheilung [3]) ist hierauf entgegnet worden, dass „die Angabe, dass Lösungen von RH_2PO_4 vor und nach dem Behandeln mit $CaCO_3$ in der Kälte dieselbe Acidität zeigen, bei Innehaltung bestimmter Bedingungen unbedingt richtig ist und die von Wagner hervorgehobenen theoretischen Bedenken gegen die Methode zwar zum Theil ihre Richtigkeit haben mögen, jedoch nicht geeignet sind, deren Anwendbarkeit zu beeinträchtigen."

Im Folgenden soll diese Behauptung bewiesen werden.

Bei der Prüfung der Zuverlässigkeit einer Methode ist es zweifelsohne erforderlich, die vom Autor derselben angegebenen Bedingungen innezuhalten. Dieser erste Grundsatz ist jedoch von den Gegnern derselben ausser Acht gelassen worden, denn es wurde gearbeitet folgendermassen:

1) Centralblatt für klin. Medicin 1890, Nr. 40.

2) A. Meyer, Inaugural-Dissertation. Berlin 1890.

3) Leo, Centralblatt für klin. Medicin 1890, Nr. 48.

Leo:	Wagner:
Angewendet: KH_2P_4.	Angewendet: NaH_2PO_4.
100 ccm desselben = 38 ccm $^1/_{10}$ NaOH.	100 ccm = 98,8 ccm $^1/_{10}$ NaOH.
1) 50 ccm derselben werden mit 50 ccm $^1/_{10}$ HCl versetzt.	1) 10 ccm werden mit 100 ccm einer Milch von $CaCO_3$ versetzt und mit 400 ccm H_2O ausgewaschen bis der Rückstand keine saure Acidität zeigt.
2) Einige Gramm trocknen $CaCO_3$'s zu einer Probe zugegeben, verrührt.	2) Gekocht.
3) Filtrirt und 10 ccm abgemessen.	3) $CaCl_2$-lösung hinzugefügt.
4) Luft zum Vertreiben der CO_2 eingeleitet[1]).	4) Titrirt.
5) Titrirt.	
Resultat: Gebraucht die doppelte Menge = 38 ccm. $^1/_{10}$ Lauge auf 100 ccm berechnet.	Resultat: Verlust von ca. 32 %.

Während also von Leo eine Phosphatlösung, die im Liter ca. 5,16 gr KH_2PO_4 enthält, zur Anwendung gebracht wurde, bedient sich Wagner einer solchen, die beinahe dreimal so stark ist, während ohne Verdünnung ein gemessener Theil der gemischten Lösungen von dem Ersteren vor und nach Behandlung mit dem Carbonat titrirt wird — also stets unter gleichen Bedingungen gearbeitet wurde, — verdünnt Wagner während des Versuches seine Lösungen auf das Fünffache, titrirt also vorher unter anderen Bedingungen als nach Einwirkung des Carbonats. Während ferner — in der allerdings zuerst nicht angegebenen Weise — von dem Autor der Methode nicht gekocht wird, kocht Wagner die stark verdünnten Lösungen auf und setzt schliesslich der Phosphatlösung Calciumchlorid zu, anstatt wie Leo von Anbeginn mit dem Gemenge der Säure und des Phosphats zu arbeiten.

Auch die Versuche von Hoffmann lassen sich nicht zur Beurtheilung der Methode heranziehen: Er arbeitete sogar mit einer Lösung von zehnfacher Concentration (2,958 in 59 ccm, d. h. 51 gr NaH_2PO_4 im Liter) bezw. mit einer solchen, die — soweit sich aus seinen Angaben ersehen lässt — 12,5 gr im Liter enthielt, und auch von

1) In der ersten Mittheilung war empfohlen, die Flüssigkeit zu kochen, später jedoch unter ausdrücklicher Betonung der Fehlerhaftigkeit dieses Verfahrens (Leo: Diagnostik S. 116) die Durchleitung von Luft vorgeschrieben worden.

ihm wird nach vollständigem Auswaschen des Carbonats die Kohlensäure fortgekocht, also gleichfalls nach der Behandlung unter anderen Bedingungen als vor derselben titrirt.

Was schliesslich die Versuche des Herrn Meyer, auf die Herr Wagner Bezug nimmt, anbelangt, so können dieselben hier füglich übergangen werden. Derselbe hat seine Versuche mit käuflichem Phosphat angestellt, ohne mitzutheilen, ob er sich vorher von dessen Reinheit überzeugt hatte. Ausserdem ist bei ihm von der Concentration der Lösungen ebensowenig die Rede, wie von Zahlenbelegen — man müsste denn die beiden angegebenen Ziffern für solche erachten. —

Gerade die Concentration der Lösungen ist es aber, die, wie weiter unten bewiesen wird, von grösster Bedeutung für die Richtigkeit der Prüfungsmethode ist; und es bedürfte unsrerseits nur der wiederholten Behauptung, dass beim Arbeiten mit Lösungen der früher angegebenen Concentration, wie sie für den Mageninhalt allein in Frage kommt, die behaupteten Resultate stets eintreten, wenn es nicht für uns wünschenswerth erschiene, die bei Innehaltung der anderen Arbeitsbedingungen eintretenden weiteren Fehlerquellen aufzudecken, so noch weitere Gründe für die Abweichungen von den theoretischen Werthen beizubringen und damit von unserer Seite die Polemik über diesen Gegenstand zu schliessen.

Bei den folgenden Versuchen wurde nicht einmal die von Leo angegebene Verdünnung angewendet, sondern, wie dies von Seiten Wagner's geschehen ist, mit Lösungen der verschiedenen Substanzen, die annähernd $^1/_{10}$ normal waren, gearbeitet. Die zur Prüfung zur Verwendung kommende Lösung von KH_2PO_4 bez. NaH_2PO_4 darf jedoch nicht ohne Weiteres durch Lösen der käuflichen Salze bereitet werden. Beide sind meistens verunreinigt: das erstere enthält fast stets aus der angewendeten Phosphorsäure stammenden Kalk — in diesem Falle bemerkt man nach dem Stehenlassen der schwach trüben Lösung einen weissen Ansatz von Calciumphosphat — beiden Salzen haftet ferner fast stets von der Darstellung her freie Säure an, so dass das Verhältniss von $R_2O : P_2O_5$ nie $= 1:1$ bei der Analyse gefunden wird.

Wird nun derartiges Material, dem freie Säure anhaftet, vor und nach der Behandlung mit Carbonat der Titration unterworfen,

so findet man selbstverständlich nachher zu wenig Alkali, denn während zuerst die folgenden Reactionen eintreten:

$$H_3PO_4 + 2NaOH = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$
$$RH_2PO_4 + NaOH = RNaHPO_4 + H_2O,$$

wird während der Behandlung die Phosphorsäure zum Theil neutralisirt:

$$2H_3PO_4 + CaCO_3 = CaH_4P_2O_8 + H_2O + CO_2$$

und demgemäss nachher weniger verbraucht, da ja

$$CaH_4P_2O_8 + 2NaOH = CaHPO_4 + Na_2HPO_4 + 2H_2O$$

ist, also auf die gleiche Menge Phosphorsäure nur die Hälfte der Basis verbraucht wird.

Die zur Prüfung verwendeten Salze werden daher am Besten aus reiner Phosphorsäure und reinem, aus Bicarbonat gewonnenem Carbonat hergestellt, durch gestörte Krystallisation in Gestalt eines feinen Krystallmehls aus der gesättigten Lösung abgeschieden und durch Absaugen und darauf folgendes Trocknen auf unglasirtem Porcellan von der anhaftenden Mutterlauge auf das Sorgfältigste befreit.

Von so bereitetem Material wurden ca. 14 gr zum Liter gelöst und der genaue Titer durch Eindampfen von je 100 ccm, Glühen des Rückstandes und Wägen des erhaltenen Metaphosphats ($RH_2PO_4 - H_2O = RPO_3$) bestimmt, die Stärke der angewendeten Chlorwasserstoffsäure durch Fällen mit Silbernitrat ermittelt und auf dieselbe eine absolut kohlensäurefreie, aus reinem Natriumsulfat und Barythydrat bereitete Lösung von Natronhydrat eingestellt, die stets der Einwirkung der Kohlensäure der Luft entzogen blieb: Versäumt man diese Vorsichtsmaassregeln, so tritt hier eine weitere Fehlerquelle ein, denn beim Titriren würden ja die calciumchloridhaltigen Lösungen durch das Alkalicarbonat umgesetzt werden.

Das zur Verwendung gelangende Calciumcarbonat wurde durch Fällen einer Lösung mittels Ammoncarbonat in der Wärme, Auswaschen des krystallinischen Niederschlages bis zum Verschwinden der Ammoniakreaction und Trocknen auf dem Wasserbade hergestellt.

Die angewendeten Lösungen enthielten:

1 Liter $HCl = 4{,}106$ gr HCl
1 „ $NaOH = 3{,}987$ gr $NaOH$
1 „ $KH_2PO_4 = 13{,}485$ gr KH_2PO_4
1 „ $NaH_2PO_4 = 13{,}653$ gr $NaH_2PO_4 + aq$

Phenolphtalein: 10 gr zum Liter unter Verwendung von möglichst wenig Alkohol gelöst.

Aber selbst bei Anwendung der angegebenen Vorsichtsmaassregeln ist bei Prüfung der Methode noch eine dritte Fehlerquelle zu beachten, die nicht genug hervorgehoben werden kann und durch deren Nichtbeachtung sich wesentliche Differenzen ergeben müssen:

Das Verhalten der Phosphorsäure gegen Basen unter Anwendung verschiedener Indicatoren ist oft Gegenstand der Untersuchung seitens verschiedener Chemiker geworden, wobei sich für Lackmus und Phenolphtalein sowie andere Farbkörper ergeben hat, dass die Wasserstoffatome der Säure bei der successiven Vertretung durch Alkali nicht gleichwerthig fungiren und demgemäss der Farbenübergang durchaus nicht so scharf ist, wie etwa bei der Titration freier Schwefelsäure oder von saurem Sulfat. Wie bei der Phosphorsäure liegen nun natürlich auch die Verhältnisse bei der Titration der Salze RH_2PO_4: Der Farbenübergang tritt nicht plötzlich, sondern ganz allmählich ein; schon lange bevor das eine Wasserstoffatom vertreten ist, macht sich ein ganz schwacher röthlicher Schein bemerkbar und erst nach erfolgter Neutralisation desselben tritt eine Rothfärbung ein, die der entspricht, welche ein Tropfen Alkali in einem der angewendeten Flüssigkeitsmenge entsprechendem mit der gleichen Indicatormenge versetztem Quantum Wassers hervorruft[1]).

Ist also bei der Reaction $RH_2PO_4 + NaOH$ der Farbenübergang zwar ein wenig scharfer, so gilt dies doch in bedeutend geringerem Masse bei der Titration nach Behandlung mit $CaCO_3$, also beim Eintritt der Reaction

$$2KH_2PO_4 + 4NaOH + 3CaCl_2 = Ca_3P_2O_8 + 2KCl + 4NaCl + 4H_2O$$

weil hier ja die störende Phosphorsäure der Lösung entzogen wird, woraus sich die Regel ergiebt, sich zunächst nach Zusatz von Calciumchlorid zu der Probeflüssigkeit mit dem eintretenden Farbenumschlag vertraut zu machen und sodann später stets bei Titration der reinen Phosphatlösungen auf dieselbe Farbe einzustellen.

Es sollen 10 ccm der obigen Lösung von RH_2PO_4 gebrauchen 9,95 ccm NaOH. Bereits bei 9,38 ccm tritt der schwach röthliche

---

1) S. hierüber die Versuche von Tobias, Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft. XV, 2452.

Farbenton ein, der bei 9,70 ccm deutlich roth wird, aber erst bei 9,97 ccm die Rothfärbung erhält, die bei Zusatz von Calciumchlorid als Endreaction zu betrachten ist.

Da bei der von Leo angegebenen Methode von vornherein unter Zufügung von $CaCl_2$ titrirt werden soll, so fällt diese Fehlerquelle hierbei weg.

Da es nicht erst des Beweises bedarf, dass die Acidität der Chlorwasserstoffsäure nach Behandlung mit Calciumcarbonat und Austreiben der Kohlensäure gleich Null wird, haben wir uns nun im Folgenden nur mit der Frage zu beschäftigen: Wie verhält sich denn RH_2PO_4 gegen Calciumcarbonat?

Wagner sagt hierüber Folgendes: Phosphorsaures Natrium ist in der Kälte nicht ohne Einwirkung auf Calciumcarbonat. Vielmehr werden nach den ausgeführten Versuchen — die wir bereits oben mitgetheilt haben — wechselnde Mengen, aber bei den eingehaltenen Versuchsbedingungen etwa 30 % des Phosphats vollständig neutralisirt.

Während von dem Einen von uns zuerst angegeben wurde, dass beim Zusammenbringen beider Körper keine nennenswerthe Einwirkung einträte, später gesagt wurde, die Acidität bleibe unverändert, liegt der Sachverhalt in der That nun so, dass bei Lösungen der angegebenen Concentration und noch mehr bei verdünnteren eine höchst geringe Einwirkung beider Körper wohl eintritt, aber die Acidität dennoch ungeändert bleibt, aber dies nur dann, wenn man richtig nach der Vorschrift arbeitet, d. h. schnell und bei gewöhnlicher Temperatur.

Schüttelt man kurze Zeit die Lösung des Phosphates mit Calciumcarbonat, so bemerkt man nach der Filtration auf Zusatz von kohlensäurefreiem Ammoniak eine höchst geringe Fällung von Calciumphosphat, titrirt man jedoch das gleiche Flüssigkeitsvolum wie vorher, so beginnt bereits vor Eintritt der Rothfärbung die Ausscheidung des Niederschlages, aber das Resultat bleibt doch unverändert.

Es ist also wohl ein Theil des Phosphats im Sinne der Gleichung:

$$2NaH_2PO_4 + CaCO_3 = CaH_4P_2O_8 + Na_2CO_3$$

umgesetzt worden, aber da 1 Mol. des Calciumphosphates dieselbe

Menge Alkali zur Titration erfordert wie die aequivalente Menge des Natronsalzes, ist diese Umsetzung auf das Resultat ohne Einfluss.

Ganz anders gestaltet sich jedoch die Sache beim Arbeiten mit concentrirten Lösungen: Solche von doppelter und dreifacher Concentration, die aber für physiologische Flüssigkeiten gar nicht in Betracht kommen [1]), lassen wohl nach Behandlung mit Calciumcarbonat auf Zusatz von Ammoniak keine grössere Menge von Calciumphosphat fallen, aber dafür befindet sich in dem ausgewaschenen Rückstande des $CaCO_3$ Phosphorsäure, d. h. das bei verdünnten Lösungen gebildete lösliche zweifach phosphorsaure Calcium ist in der concentrirten Lösung in unlösliches einfach phosphorsaures Calcium übergeführt und in diesem Falle wird dann selbstverständlich die Acidität geändert. Die Verluste an Säure beziffern sich hierbei auf 10 bez. 15%.

Bei Lösungen der angegebenen Concentration kann jedoch diese Fehlerquelle nicht eintreten — kommt also keinesfalls bei F. Wagner in Betracht — geschweige denn in solchen die noch verdünnter sind, wie sie zuerst von Leo gebraucht wurden.

Wie die Concentration ist aber auch die Zeitdauer des Versuchs und vor Allem die Temperatur von Einfluss auf den Verlauf desselben: Ersterer Umstand kommt zwar wenig in Betracht, da es ja in der Natur der Methode liegt, schnell zu arbeiten, doch sei der Vollständigkeit wegen erwähnt, dass nach längerem Stehen mit der Phosphatlösung sich das Carbonat in eine zusammenhängende krystallinische Masse verwandelt. Dieselbe besteht aus auskrystallisirtem Calciumbiphosphat, aus hieraus entstandenem Monophosphat und unzersetztem Carbonat. Im Sinne der Gleichung

$$CaH_4P_2O_8 + CaCO_3 = 2CaHPO_4 + CO_2$$

ist die Umsetzung theilweise verlaufen und in der Lösung aus dem gleichzeitig gebildeten Carbonat

$$2NaH_2PO_4 + CaCO_3 = CaH_4P_2O_8 + NaCO_3$$

Bicarbonat gebildet worden:

1) Die höchste nach Abstumpfung der freien Säure im Mageninhalt von uns beobachtete Acidität betrug 40,3 ccm $^1/_{10}$ Natronlauge. Diese Acidität ist ja aber, abgesehen von der durch das gebildete $CaCl_2$ verursachten Verdoppelung, nur theilweise durch Phosphate bedingt. Wäre sie vollständig durch Phosphate bedingt, so würde die in 100 ccm gelöste Phosphatmenge 20,15 $^1/_{10}$ Lauge zur Neutralisation bedürfen; das entspricht 2,785 gr KH_2PO_4 im Liter.

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O = 2NaHCO_3.$$

Nach 24 stündigem Stehen beträgt der Verlust an Säure 33%, nach 72 stündiger Einwirkung 47%.

Auch bei erhöhter Temperatur verläuft die Reaction nicht normal: Beim Kochen beider Körper mit einander entweicht Kohlensäure und es gelingt schliesslich die Hälfte der Phosphorsäure der Lösung zu entziehen. Im Sinne der Gleichung:

$$CaCO_3 + 2NaH_2PO_4 = Na_2HPO_4 + CaHPO_4 + H_2O + CO_2$$

ist Dinatriumphosphat in der Lösung entstanden, Calciummonophosphat ausgeschieden und dementsprechend die saure Reaction gänzlich aufgehoben.

Aber nicht allein bei Gegenwart von Calciumcarbonat tritt diese Umsetzung ein: Behandelt man damit die Lösung in der Kälte, filtrirt und kocht vor der Titration auf, so wirken wie folgt die beiden Bestandtheile der Lösung aufeinander ein:

$$CaH_4P_2O_8 + Na_2CO_3 = CaHPO_4 + Na_2HPO_4 + H_2O + CO_2;$$

unter Entweichen von Kohlensäure fällt das Calciumsalz aus und die Acidität der Lösung wird in Folge der Bildung des Dinatriumphosphates geändert.

Damit haben wir eine wichtige Fehlerquelle der Wagnerschen Versuche aufgedeckt: Wie aus der oben gegebenen Gegenüberstellung der Arbeitsweisen zu ersehen war, kocht er nach vollständigem Auswaschen des Rückstandes das etwa 500 ccm betragende Flüssigkeitsvolum zur Vertreibung der Kohlensäure auf: Hierbei musste sich aus dem angegebenen Grunde unter Abscheidung eines Niederschlages — dessen allerdings nicht Erwähnung geschieht — die Acidität ändern.

Nicht die Einwirkung des Calciumcarbonats auf das Phosphat in der Kälte, ist es, wie Herr Wagner meint, die dies bedingt, sondern das unstatthafte Kochen der Lösung; und die hierdurch herbeigeführte weitere Umsetzung verursachte, abgesehen davon, dass möglicherweise die übrigen aufgeführten Fehlerquellen in Betracht kommen, die falschen Resultate. Vermehrt wird die Fehlerquelle durch die vollständig unnöthige Verdünnung der Lösung. Die von Wagner vorgenommene fünfzigfache Verdünnung der Lösung ergiebt aus den oben auseinandergesetzten Gründen selbstverständlich andere Werthe bei der Titration als die ursprüngliche Lösung des Salzes.

Ausser diesen Fehlerquellen tritt nun bei der von Herrn Wagner beliebten Versuchsanordnung — wie wir vermuthen — eine weitere hinzu: Herr Wagner sagt, „die Filtrate wurden aufgekocht und mit 10 ccm einer ungefähr normalen neutralen Calciumchloridlösung versetzt, dann mit $^1/_{10}$ Natron austitrirt.“

Es findet sich also keine Angabe darüber, ob die Lösungen vor der Titration wieder abgekühlt wurden. War dies jedoch nicht der Fall, so sind dadurch zwei weitere Fehlerquellen gegeben: Erstens wird eine heisse Lösung von saurem phosphorsaurem Natron durch Phenolphtalein eher geröthet als eine solche die kalt ist, und zweitens trübt sich eine in der Kälte auf Zusatz von Calciumchlorid klar bleibende Lösung eines Phosphates in der Hitze sofort, weil das im Sinne der Gleichung:

$$CaCl_2 + 2KH_2PO_4 = CaH_4P_2O_8 + 2KCl$$

gebildete Phosphat sich weiter zersetzt:

$$CaH_4P_2O_8 + CaCl_2 = 2CaHPO_4 + 2HCl.$$

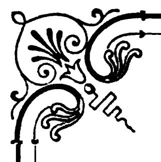
Die gebildete Salzsäure entweicht zum Theil: Die Acidität ist dann um 10% zu gering ermittelt worden.

Lässt sich so nachweisen, dass in der Arbeitsweise der Gegner der Methode die Ursache der ungünstigen Resultate liegt, dass sogar bei Anwendung der Concentration Wagner's sich bei richtiger Arbeitsweise die richtigen Werthe ergeben, Werthe die den an eine maassanalytische Methode zu stellenden Anforderungen vollständig entsprechen, so kann des Weiteren auch gezeigt werden, dass die gegen die Richtigkeit der Methode von Herrn Wagner gemachten theoretischen Bedenken nicht zutreffend sind.

Herr Wagner ist der Ansicht, dass bei gleichzeitiger Anwesenheit von freier Salzsäure und saurem Phosphat freie Phosphorsäure und Chlornatrium sich in den Lösungen bilden müsse, erstere gebe aber nach Debray mit Calciumcarbonat die unlösliche Verbindung $CaHPO_4$, wodurch natürlich ein Minderverbrauch von Alkalien für das saure Phosphat bedingt werde. Dass dem nicht so ist, vielmehr in der verdünnten Lösung die angedeutete Dissociation nicht eintritt oder ohne Einfluss auf das Resultat in dem erörterten Sinne ist, lässt sich durch eine einfache Prüfung des ausgewaschenen Niederschlages beweisen: In der Lösung desselben in Salpetersäre lässt sich weder durch Molybdänmischung noch durch Ammoniak Phosphorsäure nachweisen, also ist auch kein Calciumphosphat entstanden und die Acidität unverändert.

Der weitere und letzte Einwand Wagner's, dass nach Dusart und Pelouze nicht nur die Phosphorsäure, sondern auch der zweifach phosphorsaure Kalk, der sich bei der Einwirkung des Carbonats auf das Alkaliphosphat, wie oben erörtert, ja bildet, mit Calciumcarbonat unlösliches $CaHPO_4$ gebe und dadurch in dem erörterten Sinne das Resultat beeinflusse, lässt sich ebenfalls in einfacher Weise widerlegen. Eine verdünnte Lösung von $CaH_4P_2O_8$ giebt vor und nach Behandlung mit Calciumcarbonat bei der Titration mit Alkali dieselben Werthe und auch hier erweist sich der Rückstand als phosphorsäurefrei, d. h. die in concentrirten Lösungen wohl eintretende Reaction tritt, wie die übrigen, in den von dem Autor angewendeten Verdünnungen nicht ein.

Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.




ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

D^R. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

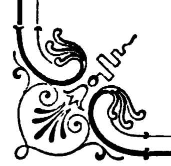
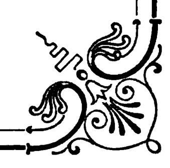
ACHTUNDVIERZIGSTER BAND.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT 2 TAFELN UND 5 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1890.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Ausgegeben am 3. October.

Inhalt.

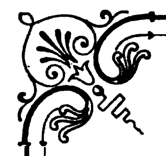
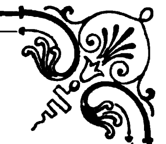
Seite

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar und 40 Separatabdrücke gratis.



Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. E. F. W. PFLÜGER,

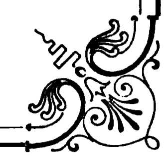
ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDVIERZIGSTER BAND.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

MIT 3 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1890.
VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Ausgegeben am 12. Dezember.

Inhalt.

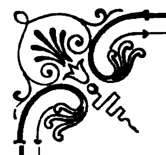
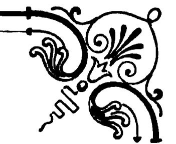
Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar

und 40 Separatabdrücke gratis.



Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

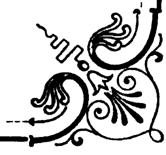
ACHTUNDVIERZIGSTER BAND.

FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT 3 TAFELN.

BONN, 1890.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

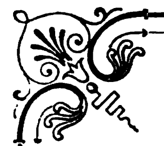
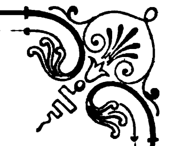



Ausgegeben am 20. Dezember.

Inhalt.



Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.

ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

ACHTUNDVIERZIGSTER BAND.

SIEBENTES UND ACHTES HEFT.

MIT 4 TAFELN UND 1 HOLZSCHNITT.

BONN, 1891.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.



Ausgegeben am 28. Januar.

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar

und 40 Separatabdrücke gratis.